

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Ústav letecké dopravy



# **Bionika letu hmyzu**

## **Bionics of Insect Flight**

Student:  
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Adam Pálka  
Mgr. Petr Vlašánek

Ostrava 2013

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Adam Pálka**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **2301T003 Dopravní technika a technologie**  
Specializace: **40 Letecká doprava**  
Téma: **Bionika letu hmyzu**  
**Bionics of Insect Flight**

### Zásady pro vypracování:

1. Stanovení požadavků na mikro UAV (rychlost, nosnost, manévrovatelnost, a další)
2. Výběr druhů hmyzu splňující svými schopnostmi stanovené požadavky
3. Studie znalostí o uvedených druzích (stavba křídla, ovládání a pohon, geometrie pohybu křídel, a další)
4. Materiálová studie k stavbě UAV (kybernetizace, pohon, energetické zdroje, stavební materiály)
5. Návrhy na řešení

Cíl DP: Vytvořit teoretický postup návrhu mikro UAV napodobujícího tvar a let hmyzu.

### Seznam doporučené odborné literatury:

BROŽ, Václav. Aerodynamika nízkých rychlostí. 5. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 182 s. ISBN 80-01-02347-8.  
MACEK, Jan. Svět zvířat- Bezobratlí. Ilustroval Pavel Dvorský, Petr Liška, Pavel Procházka, Lenka Vybíralová, Viera Postníková. 2. vyd. Praha: Albatros, 2001. 168 s. ISBN 80-00-00918-8.  
DOLNÝ, Aleš. BARTA, Dan. Vážky České republiky. 1. vyd. Vlašim: Český svaz ochránců přírody, 2007. 672 s. ISBN 978-80-86327-66-2.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Petr Vlašánek**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Ing. Aleš Sliva, Ph.D.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19. 5. 2013.....



podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 19. 5. 2013



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adam Pálka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Velká Strana 26, Háj ve Slezsku

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PÁLKA, A. *Bionika letu hmyzu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2013, 65 s. Vedoucí práce: Mgr. Vlašánek, P.

Diplomová práce se zabývá vytvořením postupu návrhu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu. V první části autor vysvětluje pojem bionika a popisuje její historii, výhody a nevýhody. Také objasňuje strukturu celé práce. V druhé části práce autor popisuje obecně uznávaný postup při návrhovém procesu. V třetí části popisuje svůj vlastní postup při napodobení tvaru a letu hmyzu strojem. V čtvrté části pak konkurenční postup napodobení tvaru a letu hmyzu stroje. V poslední páté části, pak autor jednotlivé postupy porovnává a otvírá otázku dalšího průběhu práce.

### Klíčová slova

Bionika, MIKRO, UAV.

PÁLKA, A. *Bionika letu hmyzu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2013, 65 s. Vedoucí práce: Mgr. Vlašánek, P.

Bionics of insect flight: diploma thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2013, 64 p. Supervisor: Mgr. Vlašánek, P.

This thesis deals with the creation of the design process of MICRO UAV which would simulate the shape and flight of insects. In the first part, the author explains the concept of bionics and describes its history, advantages and disadvantages. It also explains the structure of the entire thesis. In the second part, the author describes the generally accepted procedure in the design process. In the third part, he describes his own procedure for machine simulation of the shape and flight of insects. In the fourth part, a competitive procedure is being described. In the last part, the author compares the procedures and raises the question of further course of work.

### Keywords

Bionics, MICRO, UAV.

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval mému vedoucímu Mgr. Petru Vlašáňkovi za jeho čas, ochotu a pomoc při korekci práce.

Velký dík patří celé mojí rodině, zvláště rodičům a sestře za to, že mě po celou dobu studia podporovali a nesčetněkrát mi pomohli.

## Obsah:

0	Cíl .....	8
1	Zadefinování bioniky a úvod do diplomové práce .....	10
2	Obecný postup při návrhovém procesu- Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Richard B. Budynas .....	12
2.1	Úplný, obecný návrhový proces .....	12
2.2	Popis jednotlivých fází úplného, obecného návrhového procesu .....	13
2.3	Zhodnocení procesu návrhu- Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Richard B. Budynas .....	16
3	Můj postup při návrhovém procesu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu .....	17
3.1	Průzkum a stanovení požadavku na výběr konkrétního druhu hmyzu a vlastnosti MIKRO UAV .....	17
3.1.1	Průzkum “trhu“ .....	17
3.1.2	Stanovení požadavků na výběr konkrétního druhu hmyzu a vlastnosti MIKRO UAV .....	19
3.1.3	Analýza požadovaných a limitujících vlastností MIKRO UAV .....	20
3.2	Výběr druhu hmyzu splňující svými schopnostmi stanovené požadavky .....	31
3.3	Studie znalostí o vybraném druhu- Šídlu Modrém .....	32
3.3.1	Základní informace o Šídlu Modrém .....	32
3.3.2	Šídlo modré- vzhled, rozměry, hmotnosti .....	34
3.3.3	Popis vytváření vztlaku, stability letu a průběhu základních režimů letu [3].....	35
3.4	Materiálová studie k stavbě MIKRO UAV .....	39
3.4.1	Pohon .....	39
3.4.2	Energetické zdroje .....	39
3.5	Stavební materiály .....	41
3.6	BioKybernetizace.....	43
3.6.1	Princip a provedení Biokybernetizace .....	43

3.6.2	BioKybernetizace- chov vážek .....	45
3.7	Návrhy na řešení .....	49
3.8	Rekapitulace a stanovení dalších cílů .....	50
4	Postup profesora Roberta Wooda při návrhovém procesu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu .....	52
4.1	Představení projektu a výběr druhu hmyzu .....	52
4.2	Materiálová studie.....	53
4.2.1	Pohon.....	53
4.2.2	Energetické zdroje .....	53
4.2.3	Stavební materiály .....	54
4.3	Pop-up technika výroby .....	54
4.4	Současná podoba MIKRO UAV profesora Roberta Wood a jeho týmu .....	55
4.5	Dosáhnuté cíle a další cíle profesora Roberta Wooda .....	56
5	Závěr diplomové práce .....	58
5.1	Porovnání postupů v obecné rovině.....	58
5.2	Odlišnosti v postupech.....	59
5.2.1	Průzkum požadavků .....	59
5.2.2	Vymezení problému .....	59
5.2.3	Syntéza .....	59
5.2.4	Analýza optimalizace .....	59
5.2.5	Zhodnocení .....	60
5.2.6	Předvedení .....	60
5.3	Zjištění a dosažené výsledky .....	60
5.4	Dalšího postup .....	60
6	Zhodnocení cíle .....	62
7	Literatura .....	63
7.1	Publikace:.....	63



7.2	WWW stránky .....	63
-----	-------------------	----

## **0 Cíl**

Cílem je vytvořit teoretický postup návrhu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu.

# 1 Zadefinování bioniky a úvod do diplomové práce

Bionika je proces přenesení základního principu z biologie konkrétního organismu, do technického řešení.

V internetové encyklopedii- Wikipedii se dočteme, že bionika vznikla na přelomu 50. a 60. let 20. století. Avšak v té době vznikl pro tento obor pouze název. Obor neformálně existoval už dávno předtím.

Lidé totiž odjakživa a hledali, dodnes hledají inspiraci v přírodě. Třeba konkrétně v letectví vznikaly první pokusy o let paralelně při pozorování ptáků a snahou napodobit vlastnosti jejich křídel.

K popularizaci bioniky dochází roku 1956, kdy Max O. Kramer napodobil základní princip funkce kůže delfína. Ten byl aplikován na plášť ponorek, čímž dosáhl snížení odporu vznikajícího třením až o 50%[4].

Definitivně a oficiálně pak byla bionika zařazena do systému věd roku 1960 na prvním bionickém sympóziu. Velkou roli v tom hrála práce vědců z Aeronautical Systems Division vedených Johnem Keto [4].

Bionika má velký potenciál v mnoha oblastech lidské činnosti. Příroda je nevyčerpatelný zdroj inspirace a elementárních principů, využitelných nejen u technických řešení.

Použití bioniky ale není vždy jednoduché. Nejde totiž o pouhé zkopírování něčeho. Biologie organismů může být tak složitá, že jen studie a pochopení základního principu může být velmi časově, ekonomicky i technologicky náročné a může naši technologickou a myšlenkovou vyspělost výrazně předbíhat. Stejně problémy nás můžou potkat i při realizaci technických řešení. Proto nejde o vytvoření přesné kopie celku, ale jen přenesení základního principu funkce.

Bionika je věda, které já osobně moc fandím, a také proto jsem si jí vybral jako téma mé závěrečné práce. V ní se pokusím nejen vytvořit teoretický postup návrhu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu. Ale i porovnat můj přístup k návrhovému procesu s přístupy "konkurence". Konkurenty budou představovat:

- Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke a Richard B. Budynas s jejich obecným popisem návrhového procesu známým z knihy Mechanical Engineering Design. V České Republice dostupné jako překlad pod názvem konstruování strojních součástí.
- Profesor Robert Wood z Univerzity Harvard a jeho projekt napodobení letu hmyzu.

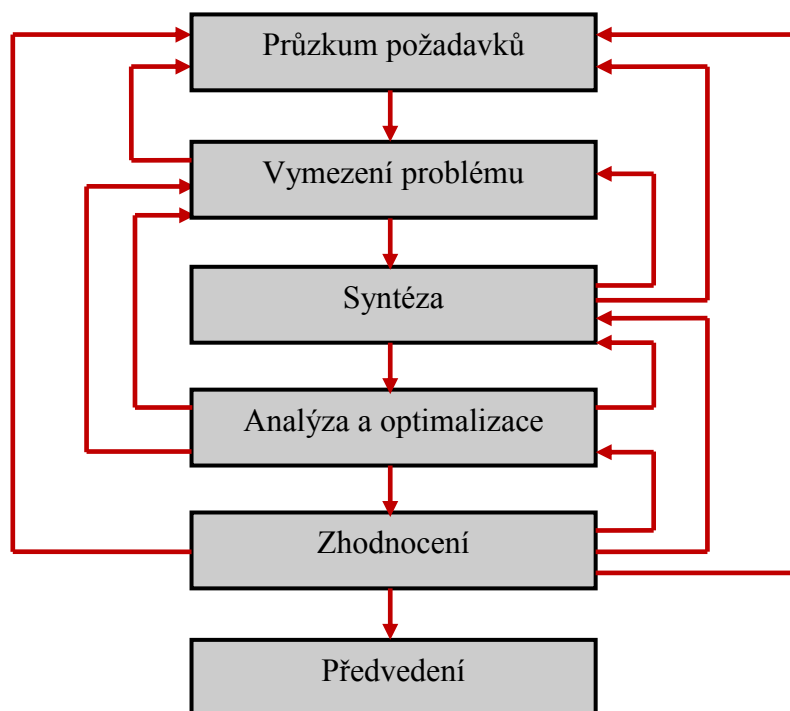
Celá tato práce bude mít následující strukturu, složenou z šesti hlavních částí:

1. **Zadefinování cíle diplomové práce.**
2. **Zadefinování bioniky a úvod do diplomové práce.** V této první části se nacházíte nyní. Takže víte, že v ní popisují co to je bionika, k čemu slouží, jak vznikla. Uvádím můj pohled na bioniku a zdůvodňuji, proč jsem si jí vybral jako téma své závěrečné práce a cíl celé práce. Zároveň Vás v ní uvádím do struktury práce, což se děje nyní.
3. **Obecný postup při návrhovém procesu- Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Richard B. Budynas.** Popis, jak by podle zmiňovaných pánů měl správný návrhový proces vypadat.
4. **Můj postup při návrhovém procesu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu.** Popis mého postupu při návrhu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu. A to od úplného začátku. Tedy od ověření poptávky po takovémto řešení, přes úvahy nad materiálovým a technickým řešením až po jeho první náčrt.
5. **Postup profesora Roberta Wood při návrhovém procesu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu.** Z dostupných informací zveřejněných Univerzitou Harvard a z mé komunikace s některými členy týmu profesora Roberta Wood popsán jejich návrhový proces.
6. **Závěr diplomové práce.** Porovnání a zhodnocení všech tří přístupů a vytvoření (dle mého názoru) ideálního teoretického postupu návrhu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu. Popis průběhu vypracování celé této práce a shrnutí jejího přínosu pro můj profesní život.

## 2 Obecný postup při návrhovém procesu- Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Richard B. Budynas [1]

### 2.1 Úplný, obecný návrhový proces

Od svého začátku do konce, je úplný návrhový proces často znázorňován tak, jak je uvedeno na obrázku 2.1.1.



**Obr. 2.1.1:** Úplný návrhový proces [4].

Celý proces začíná průzkumem požadavků a rozhodnutím, jak na ně reagovat. Po mnoha iteracích končí předvedením plánů na uspokojení požadavků. V závislosti na povaze návrhového úkolu se mohou některé návrhové fáze v průběhu i opakovat.

*Poznámka:*

*Iterace = opakování*

*Pánové Shigley, Mischke a Budynas sice uplatňují jejich postup při navrhování strojních součástí. Nicméně pro můj účel: vytvořit teoretický postup návrhu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu a porovnat různé přístupy k návrhovému procesu. Bude také vyhovovat.*

## 2.2 Popis jednotlivých fází úplného, obecného návrhového procesu

### Průzkum a stanovení požadavků na výrobek

Zpravidla, nikoli však vždy, začíná návrh až po prozkoumání požadavků a po rozhodnutí jak na tyto požadavky reagovat.

Průzkum požadavků a jejich formulace jsou často vysoce tvůrčí činnosti. Požadavky totiž mohou být někdy vyjádřeny pouze ve tvaru neurčitě formulované nespokojenosti, pocitu znepokojení nebo zjištění, že něco není v pořádku. Požadavek není často vůbec zřejmý. Průzkum je pak obvykle zahájen na základě jednotlivých nepříznivých okolností nebo řady náhodných okolností, které vzniknou téměř současně.

### Vymezení problému

Je obrovský rozdíl mezi stanovením požadavků a následným vymezením problémů, který z těchto požadavků plyne.

Problém je vymezen mnohem přesněji. Například když je kladen požadavek na čistotu ovzduší- může být problém vymezen jako snížení množství prachu vycházejícího z komínů elektráren nebo jako snížení množství exhalací z motorových vozidel či jako rychlé hašení hořících lesů.

Vymezení problémů musí zahrnovat pokud možno všechny podmínky stanovené pro navrhovaný objekt. Podmínkami jsou vstupní a výstupní veličiny a charakteristiky. Například rozměry prostoru, který bude výsledný objekt zaujímat, a všechny omezení spjaté s danými rozměry.

Vymezení problémů se dotýká i technických podmínek, které vyplývají buď z konstruktérova okolí, nebo z povahy samotného problému. Využitelné výrobní procesy společně s celkovým vybavením určitého podniku omezují konstruktérovu nezávislost, a jsou tudíž částí vyjádřených technických podmínek. Například se může stát, že malý podnik není vybaven zařízením na tváření za studena. S vědomím toho pak konstruktér volí jiné výrobní technologie, které jsou proveditelné v daném podniku. Naznačená omezení jsou rovněž dána dosažitelnou řemeslnou zručností a polohou podniku, ztěžující jeho dopravní dostupnost. Omezením je všechno to, co klade nějaké meze konstruktérově možnosti svobodné volby. Například i katalogy výrobců obsahují mnoho druhů materiálů a rozměrů polotovarů, které ale nejsou mnohdy dostupné

## Syntéza

Syntézu můžeme chápat, jako proces, při němž vznikne vlastní řešení. Jsou mu dány rozměry, tvar, atd.

Na začátku syntézy jsou definovány vlastnosti výsledného řešení. Z nichž autoři zmiňují zejména:

- Funkčnost: výrobek musí být způsobilý a plnit stanovené potřeby a očekávání zákazníka.
- Bezpečnost: výrobek musí být při plnění požadovaných funkcí ve stavu, ve kterém je riziko ohrožení zdraví, života osob, životního prostředí nebo poškození majetku omezeno na přijatelnou úroveň.
- Spolehlivost: neboli bezporuchovost, udržitelnost a možnost zajištění údržby.
- Pohotovost: výrobek je schopen plnit nepřetržitě požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém období. Jedním z ukazatelů bezporuchovosti je pravděpodobnost bezporuchového provozu.
- Bezporuchovost: výrobek je schopen plnit nepřetržitě požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém období. Jedním z ukazatelů bezporuchovosti je pravděpodobnost bezporuchového provozu.
- Životnost: výrobek je schopen plnit požadovanou funkci v daných podmínkách používání a údržby do mezního stavu, který lze charakterizovat ukončením užitečného života, nevhodností z důvodů ekonomických, technických nebo jinými závažnými faktory.
- Konkurenceschopnost: výrobek je schopen se úspěšně uplatnit v tržním prostředí.
- Použitelnost: výrobek je snadno ovladatelný, přizpůsobený stavbě lidského těla, jeho silovým schopnostem, výkonnosti a velikosti.
- Vyrobitelnost: výrobek má „minimální“ počet částí, je schopný hromadné výroby v předepsaných tolerancích.
- Prodejnost: výrobek může být nakupován a je zajištěn servis pro provádění záručních i pozáručních oprav.

V průběhu syntézy je důležité, aby si konstruktér stanovil strategii optimalizace. Jedná se nastavení způsobu, jak rozpoznat správné alternativy, jak rozlišit mezi dvěma přijatelnými alternativami a z nich vybrat tu lepší.

Základem správně provedené syntézy je racionální rozhodování, což je systematický proces navrhování a schopnost syntézy autoři shrnují jako zvládnutý proces optimalizační strategie.

A na konci správně provedené syntézy bychom měli mít vytvořený výsledný návrh produktu-tak zvaný koncept. Ten by měl vyhovovat všem požadavkům nastavených v předcházejících krocích.

V dnešní době jsme schopni si syntézu podstatně usnadnit. Například výpočetními nástroji. Zároveň získávání informací je dnes podstatně jednodušší. Pánové Shigley, Mischke a Budynas naši dobu označují dobou informací, kdy informace vznikají s ohromující rychlostí.

### Analýza a optimalizace

Při analýze se vyhodnocuje, zda je koncept postačující nebo dokonce lepší, než bylo požadováno. Při postačujícím provedení se pak zjistí, jak dobře bude výsledný produkt sloužit. Návrhy produktu, které při této analýze nevyhoví, jsou opraveny, vylepšený nebo vyřazeny. Ty, které přicházejí v úvahu, jsou optimalizovány. Vlastní návrhy jsou pak porovnány s konkurenčními výrobky, aby bylo možno dosáhnout výrobku s největší konkurenceschopností.

#### *Poznámka:*

*Syntéza, analýza a optimalizace jsou ve velmi úzkém a iteračním vztahu.*

### Zhodnocení

Je výsledný produkt spolehlivý? Bude schopen úspěšně konkurovat podobným výrobkům? Je hospodárný z hlediska výroby a užití? Bude snadno udržovatelný a opravitelný? Bude při svém prodeji a užití zdrojem zisku? Jaká je pravděpodobnost, že dojde k soudním sporům týkajících se odpovědnosti za výrobek? Přichází v úvahu stažení výrobku z trhu kvůli vysoké spotřebě náhradních částí nebo systémů?

Zhodnocení je významnou etapou návrhového procesu. Je závěrečnou prověrkou úspěšnosti návrhu a obvykle zahrnuje laboratorní zkoušky prototypu. Při nich chceme zjistit, zda navržený výrobek skutečně splňuje zadaný požadavek nebo požadavky.

### Předvedení

Závěrečným, životně důležitým, krokem v návrhovém procesu je předání návrhu účastníkům dalších navazujících procesů. Autoři dále uvádějí, že je nepochybné, že mnoho významných konstrukcí, vynálezů a tvůrčích děl bylo ztraceno pro budoucí generace



jednoduše proto, že jejich tvůrci nebyli schopni nebo ochotni vysvětlit výsledek svého úsilí ostatním lidem. Předvedení výrobku je úkolem prodeje. Konstruktor, předkládající nové řešení administrativě, managementu nebo dozorčím orgánům, usiluje současně o jeho prodej nebo o průkaz, že jeho řešení je lepší než ostatní. Pokud přitom nebude úspěšný, jsou čas a úsilí vynaložené na řešení z velké části promarněny. Když konstruktor prodává nový projekt, prodává rovněž sebe samého. Je-li opakovaně úspěšný v prodeji svých myšlenek, návrhů a nových řešení managementu, jeho plat a funkční zařazení budou vzrůstat. To je obecně platný důsledek úspěšnosti v povolání.

### **2.3 Zhodnocení procesu návrhu- Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Richard B. Budynas**

Navrhování je inovační a vysoce iterační proces. Je to ale též rozhodovací proces. Často musí být rozhodováno na základě velmi malého množství informací, občas s náležitým množstvím informací nebo s přemírou částečně si odporujících informací, Člověk mající hodinky ví, kolik je hodin. Má-li dvoje hodinky, není si již nikdy jistý. Rozhodnutí má někdy pouze prozatímní charakter. Je ponecháno právo na pozdější úpravu, kdy bude k dispozici více znalostí.

Navrhování je intenzivní komunikační činnost, při níž se využívají jak slova, tak obrazy, a je používána jak psaná, tak ústní forma. Konstruktoři musejí být schopni efektivně komunikovat a spolupracovat s lidmi z různých vědních oborů, kteří jsou více či méně informováni o jejich práci. Na zvládnutí těchto schopností též závisí konstruktorův úspěch. Řešení problémů jsou spjata s jeho technologickými znalostmi a znalostmi základních vědeckých zákonitostí. Kombinované použití inženýrských nástrojů jako je matematika, statistika, počítač, grafika a jazyk vede k vytvoření konstrukčního návrhu a následně k realizaci výrobku, který je funkční, bezpečný, spolehlivý, konkurenceschopný, použitelný, vyrobitelný a prodejný bez ohledu na to, kdo jej vyrobil nebo užívá.

### **3 Můj postup při návrhovém procesu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu**

#### **3.1 Průzkum a stanovení požadavku na výběr konkrétního druhu hmyzu a vlastností MIKRO UAV**

Nasazení UAV s hmyzími rozměry i podobou má smysl všude tam, kde by byla lidská práce příliš nepřesná, příliš pomalá, příliš drahá, či pro člověka příliš nebezpečná.

Existuje ale vůbec poptávka po takovémto řešení? Rozměry a podobu, kterého druhu hmyzu by MIKRO UAV mělo ideálně mít? Při vývoji půjde o dosažení co nejlepších vlastností a výkonů MIKRO UAV, ale existují i minimální požadavky, kdy má toto řešení smysl?

Tyto otázky mi neustále probíhaly hlavou. Logicky tedy na začátku práce vznikla tato část, kdy provádím “rychlý průzkum trhu“ a na tyto otázky hledám odpovědi, s kterých dále vycházím.

**Celý průzkum jsem provedl a je tedy i dále popsán ve třech fázích:**

1. Průzkum “trhu“
2. Stanovení požadavku trhu na výběr konkrétního druhu hmyzu a vlastností UAV
3. Analýza požadovaných a limitujících vlastností MIKRO UAV

##### **3.1.1 Průzkum “trhu“**

Abych získal seriózní podklady a odpovědi pro mé otázky, rozhodl jsem se, že nebudu vycházet z průzkumů nebo podkladů zveřejněných na internetu, ale vytvořím průzkum vlastní.

Vytipoval jsem tedy několik potenciálních uživatelů zabývajících se činností, kde nasazení UAV s hmyzími rozměry mohlo mít smysl. Tyto potenciální uživatele jsem pak pomocí emailu požádal o odpovědi na jednoduché otázky. Zajímalo mě, zda by takovéto řešení využili, uvítali a jestli ví o nějakých požadavcích na vlastnosti nebo cokoli jiného s problematikou související, které kdyby dané MIKRO UAV nesplnilo, postrádalo by takovéto řešení pro jejich činnost smysl (například: doba letu, dolet).

### Tabulka s výsledky průzkumu

V levé části tabulky je seznam všech oslovených potenciálních uživatelů, kteří na mé dotazy odpověděli. V pravé části jsou vlastnosti, které tito potenciální uživatelé požadují, nebo je označili jako limitující.

OSLOVENÝ POTENCIÁLNÍ UŽIVATEL	EXISTUJE ZÁJEM O TAKOVÉTO ŘEŠENÍ	POŽADOVANÉ A LIMITUJÍCÍ VLASTNOSTI
ARMÁDA ČR	ANO	Množství, kvalita získávaných a <u>především přenášených</u> dat a informací. Operační výdrž, dosah, hlučnost a cena. Limity s ohledem na letové vlastnosti v závislosti na povětrnostních podmínkách (zejména vítr, déšť)
MINISTERSTVO VNITRA ČR	ANO	Musí umět pořizovat a přenášet videozáběr. Dobrá ovladatelnost a manévrovatelnost, minimální hlučnost. Ovládání tzv. na dohled- nepoužitelné.
POLICIE ČR- ÚTVAR PRO ODHALOVÁNÍ ORGANIZOVANÉHO ZLOČINU	ANO	-----
POLICIE ČR- KRIMINALISTICKÝ ÚSTAV PRAHA	NE	-----
POLICIE ČR- PYROTECHNICKÁ SLUŽBA	NE	-----

**Tab. 3.1.1.1:** Výsledky průzkumu trhu.

### Závěr a zhodnocení průzkumu

Z průzkumu vyplývá, že v České Republice po takovémto řešení poptávka existuje a z odpovědi armády České Republiky je patrné, že s MIKRO UAV už má zkušenosti a do budoucna s nimi počítá. Usuzuji tedy, že má smysl se touto problematikou nadále zabývat. Průzkum a jeho průběh hodnotím kladně. I přes jeho jednoduchost přinesl informace, z kterých dále ve své práci vycházím a mým cílem je pokud možno všechny splnit. Nicméně je škoda, že nikdo z oslovených nekvantifikoval své požadavky a limity. Proto v části práce: "Analýza vyžadovaných a limitujících vlastností MIKRO UAV": se snažím některé z těchto limitů a požadavků kvantifikovat sám.

### 3.1.2 Stanovení požadavků na výběr konkrétního druhu hmyzu a vlastnosti MIKRO UAV

Čím lepší je originál, tím lepší je i kopie. Proto nastavení požadavků a výběru druhu hmyzu a vlastnosti MIKRO UAV věnuju tak velkou pozornost, čas a tuto další část práce.

#### Požadavky na výběr konkrétního druhu hmyzu

- Vybraný hmyz musí být rozšířen po co největším území České Republiky a mít co nejdelší dobu života, aby kopii bylo možno nepozorovaně používat co nejvíce dní v roce.
- V lidech by vybraný hmyz neměl vyvolávat “přehnané“ emoce. To znamená strach nebo velkou radost, že daný druh hmyzu konečně spatřili. Mělo by jít o poměrně častý, lidem všeobecně známý, poměrně hojně se vyskytující druh.
- Jestliže originál bude skvělý, pak kopie bude nejhůře výborná, proto originál musí být skvělý, všestranný letec. Dá se tedy očekávat, že pokud originál má výborné letové vlastnosti, pak i u kopie je můžeme dosáhnout.
- Musí jít o co nejméně hlučný hmyz. Jeho let by pokud možno neměl vydávat bzučení, nebo jiný nápadný, hlasitý a hlavně neznámý zvuk. Mělo by tedy jít o hmyz s nižší frekvencí kmitu.
- V první fázi je třeba vybrat druh hmyzu přiměřené velikosti, kde je ze začátku vyšší pravděpodobnost úspěchu. Kopie musí být v měřítku 1:1 a je třeba nabrat zkušenosti a vyřešit základní problematiku a potom se můžu zabývat kopírováním menších zástupců v rámci druhu. Hledám tedy hmyz, který má velký velikostní rozsah.
- Zároveň by však mělo pravděpodobně jít o nějakého robustního dravce. Usuzuju, že robustní, těžší tělo potřebuje větší vztlak a jakožto dravec navíc potřebuje odletět i se svou kořistí, čili zase větší hmotnost a další potřebný vztlak.

## Požadavky na vlastnosti MIKRO UAV

Ty v podstatě určili už potenciální uživatelé. Já k nim, ale ještě přidal další, které od MIKRO UAV vyžaduji já. Kompletní seznam tak vypadá takto:

- Vzhled MIKRO UAV
- Rychlost
- Manévrovatelnost
- Limity s ohledem na letové vlastnosti v závislosti na povětrnostních podmínkách (zejména vítr)
- Hlučnost
- Ovladatelnost
- Operační výdrž
- Nosnost
- Dosah
- Množství a kvalita získávaných a především přenášených dat a informací
- Cena

### 3.1.3 Analýza požadovaných a limitujících vlastností MIKRO UAV

V této části práce zevrubně analyzuji a vytvářím si představu o vlastnostech, které potenciální uživatelé MIKRO UAV vyžadují, nebo považují za limitující plus o dalších vlastnostech, které od MIKRO UAV vyžaduju já. U všech těchto vlastností mi v průběhu práce jde o dosažení co nejlepších parametrů. Nicméně to se vždy nemusí podařit a i proto se v této části práce snažím kvantifikovat dolní hranici, kdy má dané řešení smysl a výsledek bylo i možné objektivně posoudit.

Abych mohl některé vlastnosti, co nejjednodušeji a nejrychleji kvantifikovat stanovil jsem si referenci a k ní vše vztahuju.

Tou referencí je jeden z možných primárních cílů MIKRO UAV s hmyzími rozměry a vzhledem. A sice: Mapování vnitřních prostor budov na území České Republiky.

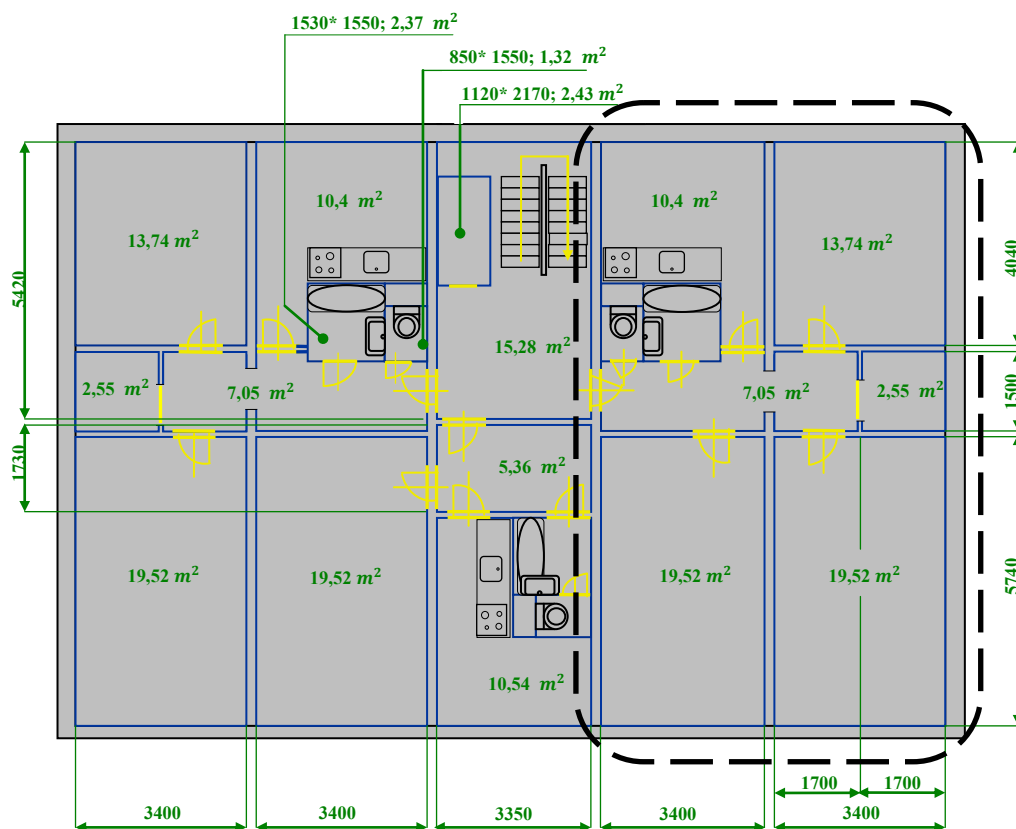
#### *Definice mapování vnitřních prostor budov na území České Republiky:*

*Komplexní proces, při kterém jsou systematicky získávány informace nejrůznější povahy (např.: reálný obraz prostoru, teplota, zvuk, identita osob, amd.) uvnitř prostor budov na území daném hranici státu České Republiky.*

Chci upozornit, že tento primární cíl jsem “nestřelil” jen tak od boku. Jeho stanovení předcházela dlouhá série úvah a průzkum budoucí podoby a poptávky v tomto segmentu trhu. Zároveň jsem vybral cíl, který podle mě je dostatečně obtížný a tudíž předpokládám, že pokryje svou náročností požadavky i mnoha dalších cílů.

Při práci na kvantifikování daných vlastností jsem však zjistil jsem, že stanovený primární cíl je moc široký, a těžko použitelný jako reference. Konkrétně slovo: budova, je široce definovaný pojem. Protože jak velká budova? Obytná? Neobytná? Kolik místností a jak velkých bude mít? Jak bude vysoká a kolik má pater? Pro každou budovu se dají stanovit jiné požadavky. Je nereálné zabývat se a vyhodnocovat všechny možné typy.

Proto jsem oslovil Český statistický úřad a zjistil jsem, že nejčastějším vnitřním prostorem budovy České Republiky k 26. 3. 2011 je byt, s rozlohou  $65,3 \text{ m}^2$  obsahující 3,7 obytných místností (kam nejsou započítány předsíně, spíže, komory, apod.). Nejčastěji jsem samozřejmě hledal záměrně, aby výsledek byl korektní pro co největší počet budov. Na obrázku pod textem je zjednodušený půdorys takového opravdu existujícího, Porubského bytu i se skutečnými rozměry. K tomuto bytu v případě potřeby budu vše vztahovat.



**Obr. 3.1.3.1:** Půdorys referenčního bytu- černě čárkovaná oblast.

## Vzhled MIKRO UAV

Vzhled MIKRO UAV musí odpovídat napodobovanému hmyzu, tak aby byl nerozeznatelný, nebo alespoň velmi obtížně rozeznatelný. V současné rozpracovanosti práce je mým záměrem tento požadavek ještě neuzavírat. Zatím jsem tedy nijak neurčil, hranici rozeznatelnosti pro náš stroj a jaké je její měřítko. V nadcházející době, chci udělat několik experimentů s využitím tak zvaného optického klamu. Ten by se velmi pravděpodobně dal využít pro snížení rozeznatelnosti.

## Rychlost

Maximální rychlost pro mapování vnitřních prostorů bytu jsem pomocí referenčního bytu experimentálně stanovil na 1,25 m/s. Po provedení několika experimentů jsem došel k závěru, že nad tuto rychlost se značně snižuje přesnost reakcí operátora. Ale je třeba počítat i s dalšími situacemi. Například může nastat potřeba dlouhodobého mapování, nějakého statického bodu. V tom případě by bylo nejlepší vznášet se na jednom místě, čili rychlost 0 m/s. Ale také může nastat situace, kdy MIKRO UAV bude prozrazeno a ve snaze zachránit stroj je potřeba vydat se na “útěk“. V takovém případě pronásledování je třeba se pohybovat rychleji než pronásledovatel. To v případě krátkodobě běžícího člověka může znamenat rychlost až 12.4 m/s. Je ale téměř jisté, že v začátku si nebudeme moct takhle vybírat. A proto budu maximálně spokojen, když se podaří udržet rychlost 1,25 m/s.

## Manévrovatelnost

Pro plnění stanoveného cíle je naprosto zásadní, aby výsledné MIKRO UAV mělo brilantní manévrovatelnost. Avšak vypozerovat jak hmyz jednotlivé manévry provádí a napodobit je, není lehký úkol. Ale v rámci minimálních požadavků je třeba dosáhnou alespoň těchto manévru:

- Dopředný let
- Vis
- Plynulá změna výšky
- Plynulá změna rychlosti
- Změna směru při všech uvedených manévrech

Úspěchem však bude, jestliže se postupem času podaří rozšířit tyto základní zmíněné manévry o další. Zejména pak o:

- Let pozadu
- Let bokem
- Samostatný vzlet a přistání
- Plachtění
- Změna směru při všech uvedených manévrech

### Limity s ohledem na letové vlastnosti v závislosti na povětrnostních podmínkách- vítr

Vítr patří mezi nejvariabilnější meteorologické veličiny, takže jedna průměrná rychlost spočítaná pro celou ČR se normálně nepoužívá. Rychlost větru je ovlivněna především členitostí zemského povrchu, ale dá říci, že průměrná roční rychlost větru na většině území spadá do rozmezí 2-4 m/s, pod 2 m/s jsou tyto rychlosti především na J a JZ Čech v údolích řek a pánvích. Rychlosti vyšší než 5 m/s se vyskytují v oblastech horských a na Českomoravské vrchovině. V horských oblastech nad 1000 m jsou roční průměrné rychlosti mezi 7-9 m/s.

V bytech většinou nefouká. Jenže MIKRO UAV musí dovnitř doletět a to pravděpodobně bude nejčastěji z venku. Mělo by tak být letuschopné a normálně ovladatelné minimálně ve větru o rychlosti 2-4 m/s.

### Hlučnost

Hluk je zvuk s nadměrnou intenzitou. Hlučnost je tedy dána hladinou intenzity zvuku. Zvuk se měří v dB, což je logaritmická jednotka. V případě zvýšení hladiny zvuku o 1db se intenzita zvuku ztrojnásobí.

Pro mnohý hmyz je charakteristický bzukot. Ten vyvolává velmi rychlé oscilace křídel. Dá se říct, i když to neplatí vždy, že čím menší hmyz je, tím rychlejší má oscilaci křídel. Například komár mávne křídly až 1000 krát za jednu sekundu, ale třeba vážka zhruba 20 až 40 krát za sekundu. Hledám tak pro napodobení hmyz, který má pokud možno co nejmenší oscilaci křídel.

Požadavek je tedy následující. Stroj by měl vydávat stejný zvuk respektive hluk charakteristický pro originál. Hluk výsledného MIKRO UAV by měl být menší nebo maximálně stejně velký, jako hluk na pozadí. Při nepozorovaném mapování je totiž třeba, aby nerušil. Vydávaný zvuk by měl být takové intenzity, která splyne s hlukem okolí. Moje představa je do 10 dB.



Pro vytvoření vlastní představy o hluku zde umísťuji tabulku s příklady zvuku a jejich hladinou intenzity.

HLADINA INTENZITY ZVUKU [dB]	PŘÍKLAD ZVUKU
0	PRÁH SLYŠITELNOSTI ZVUKU
10	ŠELEST LISTÍ, ŠUM PŘI SLABÉM VĚTRU
20	KLIDNÁ ZAHRADA
30	ŠEPOT, RELATIVNÍ TICH V OBSAZENÉM HLEDIŠTI KINA
40	TLUMENÝ HOVOR
50	TELEVIZOR PŘI BĚŽNÉ HLASITOSTI
60	HLASITÝ HOVOR

**Tab. 3.1.3.2:** Příklady intenzity zvuku [5].

#### *Poznámka:*

*Zvuk je vlnění a dvě vlnění se mohou buď zesilovat, nebo vzájemně rušit. Možná by se tak později dalo i vymyslet, jak vzájemně, alespoň částečně vyrušit vlnění, které produkují křídla hmyzu.*

#### Ovladatelnost

Dobrá ovladatelnost MIKRO UAV je určitě jednou z hlavních vlastností nejen pro úspěšné zmapování vnitřních prostor bytu.

Výsledné ovládání stroje by mohlo být prováděno na dálku pomocí tabletu nebo nějaké jeho modifikace. To by umožnilo jednoduše a rychle na dálku nastavit ovladatelnost podle aktuálních, individuálních potřeb operátora. U konečného produktu, by mělo být umožněno nastavení prodlevy a rychlosti reakce stroje na povely operátora.

Bude třeba taky vytvořit řadu podpůrných systémů. Například pro automatickou prostorovou stabilizaci letu, nebo pro udržování bezpečné vzdálenosti od překážek i přes chybný manévr operátora.

O tom ale v současnosti nelze uvažovat a úplně budu spokojený, když se podaří ovladatelnost dotáhnout do takové úrovně, aby operátor byl se strojem bez problému provést základní stanovené manévry.

### Minimální operační výdrž

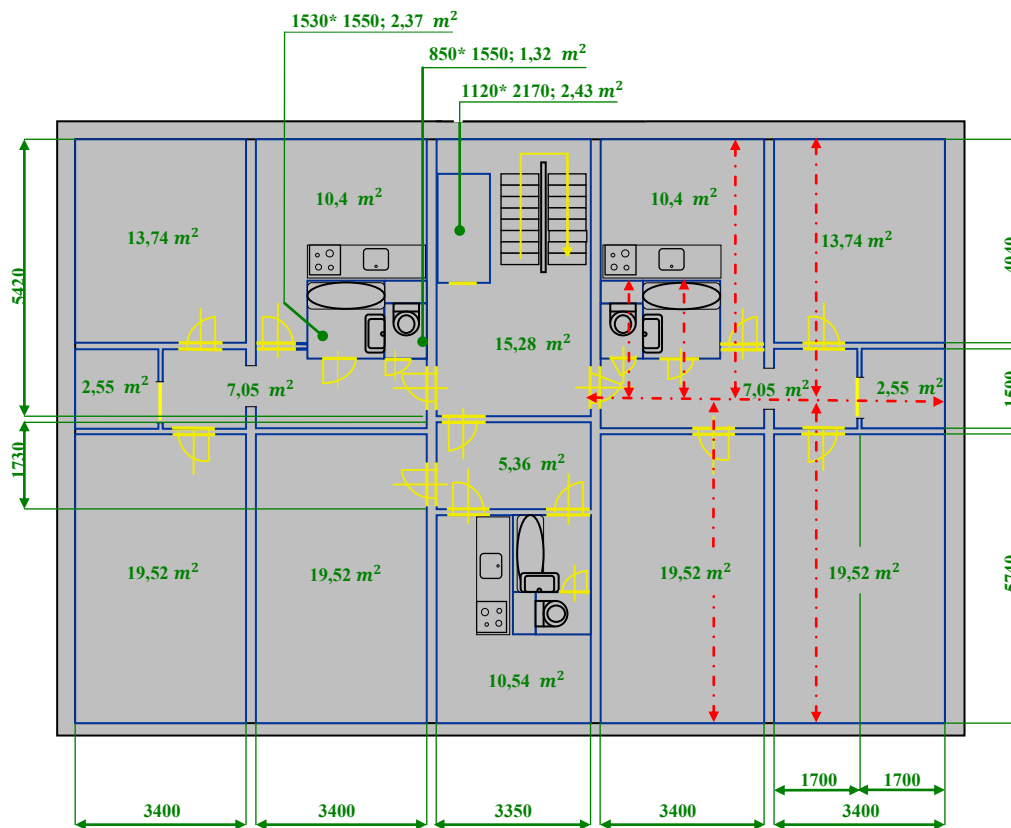
Operační výdrž je hodnota udávající maximální dobu provozu MIKRO UAV v kuse bez funkčního omezení. Mnou hledaná operační výdrž je minimální. Hledám tak minimální použitelnou hodnotu maximální doby provozu.

Krátká operační výdrž neumožní provádět požadované úkoly a možnosti využití celého zařízení jsou pak minimální. Naopak extrémně dlouhá operační výdrž, může znamenat, že celé zařízení není navrženo efektivně. Například předimenzovaný zdroj energie, který v praxi poskytne enormně dlouhou- nevyužitelnou výdrž znamená velkou hmotnost navíc a tím například snížení počtu nesených senzorů. Výslednou minimální operační výdrž jsem pomocí reference stanovil na 44 sekund.

### *Poznámka:*

*Hodnota 44 sekund je opravdu nejnižší možnou hodnotou minimální operační výdrže. Tato hodnota je v mnoha ohledech zidealizovaná a nepočítá s žádnou rezervou, například pro zastavení stroje, zaváhání operátora, nebo cokoliv jiného.*

## Výpočet minimální operační výdrže



*Obr. 3.1.3.3: Úplný návrhový proces.*

$$2 * (3400 + 1700 + 1700) + 2 * 750 + 2 * 1550 + 2 * 750 + 2 * 1550 + 2 * 750 + 2 * 5740 + 2 * 750 + 2 * 4040 + 2 * 750 + 2 * 4040 + 2 * 750 + 2 * 5740 = 54940 \text{ mm}$$

Jestliže požadovaná rychlost je 1,25 m/s pak:

$$54940 \text{ mm} = 54,940 \text{ m}; \frac{54,940}{1,25} = 43,952 \text{ s}$$

Minimální operační výdrž po zaokrouhlení je 44 s.

## Nosnost

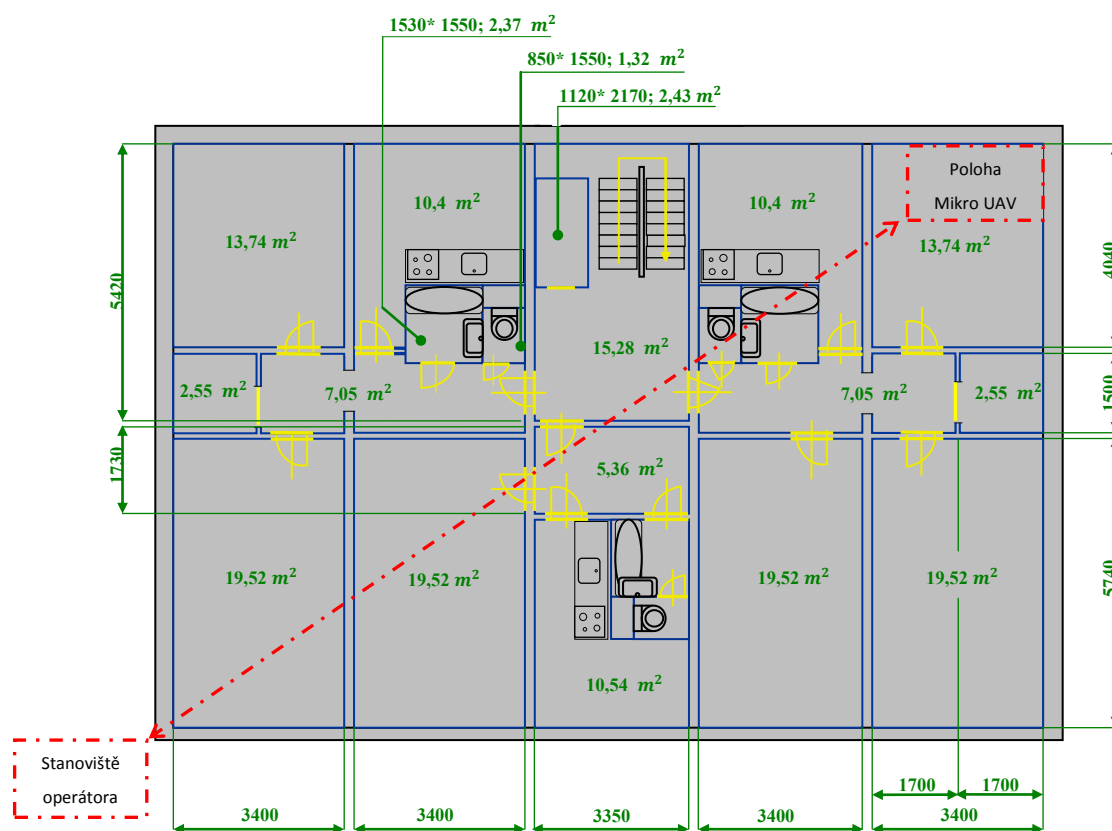
Požadovanou nosnost bohužel také není snadné dopředu kvantifikovat. Každého samozřejmě napadne, že čím větší tím lepší. Tím více senzoru a dalšího vybavení dokáže UAV nést. V současné době nejsem schopen říct, kolik budou finální senzory, senzor (zatím se počítá jen s optikou) vážit protože komunikace s výrobcí stále probíhá. Taky není vůbec jisté, že celá nosnost případně pouze na senzory, je možné, že její podstatnou část například zabere elektrický zdroj. Velmi pravděpodobné v současnosti také je, že bude třeba vyvinout nebo počkat na vývoj senzorů zcela nových.

Nicméně podle mě je důležité, si v oblasti nosnosti stanovit nějakou cílovou hodnotu. Uvažoval jsem, že tato hodnota by měla být rovna hodnotě, hmotnosti, kterou je schopen nést i originál. Tato hmotnost bude pravděpodobně u většiny hmyzu rovna hodnotě jejich potravy. Proto bych při výběru napodobovaného hmyzu měl upřednostnit hmyz, který je dravcem. Kořist dravců totiž mnohdy může být i stejně velká a těžká jako samotný predátor.

Nakonec jsem se, ale rozhodl, že v počátku bude stačit, když stroj unese sám sebe i za cenu nulové nosnosti.

Dosah je maximální vzdálenost mezi operátorem a samotným MIKRO UAV. Na kterou je operátor schopen UAV bez omezení řídit.

## Výpočet dosahu- úhlopříčky domu



**Obr. 3.1.3.4:** *Znázornění uhlopříčky domu.*

Výpočet úhlopříčky domu:

$$u = \sqrt{a^2 + b^2}$$
$$u = \sqrt{18025^2 + 11360^2}$$
$$u = 21306 \text{ mm} = 21,3 \text{ m}$$

Minimální potřebný dosah je 21,3 m

## Množství a kvalita získávaných a především přenášených dat a informací

U tohoto požadavku se dolní použitelnou hranici ještě nepodařilo kvantifikovat. Je to hlavně z důvodů, že v současné době nemám vyřešen systém řízení ani osazení základními senzory.

Ty musí být zvoleny tak, aby umožnili snímání obrazu v reálném čase, které umožní i řízení. Je tedy třeba zjistit, jaké množství dat se u obrazu přenáší. Zároveň nejsem pevně rozhodnut, jak bude vypadat systém řízení ani jaký způsob přenosu dat zvolím.

Navíc uvažuji, že by nutně nemusely být přenášeny všechny data najednou. Část by jich mohla být ukládána do vyměnitelného modulu.

Proto téma minimálního množství přenesených dat, nechávám otevřené.

### *Poznámka:*

*Vyměnitelný modul by mohl být MIKRO variací dnes známých flash disků. Přenos dat z vyměnitelného modulu by pak probíhal u operátora stroje.*

## Cena

Pro zjištění ceny, respektive jak odborně postupovat při jejím stanovení u tak specifického produktu, který se jeví zatím asi nejzajímavější pro armádu a policii, jsem emailem oslovil několik právníků, kteří ve svých preferencích uvádějí, že s oceňováním armádních zakázek mají zkušenosti. Bohužel nikdo z nich mi neodpověděl.

Nicméně si myslím, že i jednoduchou úvahou se dá dojít k hrubému odhadu ceny. K jejímu pokud možno co nejpřesnějšímu odhadu by bylo skvělé si vytvořit business plán. To však není předmětem této práce a proto se vracím k úvahám.

Výsledná cena musí pokrýt veškeré náklady na výzkum, vývoj a výrobu. Ty by měli být rovnoměrně rozloženy do celkového dolního odhadu počtu prodaných kusů. Musí pokrýt celkové náklady na výrobu, prodej, daně, poplatky a samozřejmě zahrnovat marži.

Stanovit přesné, konkrétní číslo by byl tip. Ale jen orientační cenu si můžeme v rychlosti spočítat:

Náklady na 1 člověka:

cca 2000 pracovních hodin za rok

plat cca 200 Kč/ hodina

34% sociální + zdravotní pojištění

Celkem náklady na 1 člověka za rok cca: 536 000 Kč

Náklady na 3 členný pracovní tým pak cca: 1600 000 Kč

Pokud stanovíme odhad, že materiálové a provozní náklady se pohybují v rozmezí 1:1 tak jsou náklady na tým ročně 3200 000 Kč bez DPH a investičních nákladů. Při těchto nákladech je jasné, že cena stroje bude vysoká a buď ji zaplatí speciální složky, nebo je nutná „masovost výroby“.

Dobré je se také podívat kolik stojí řešení konkurence. Naše cena bude sice odlišná, protože se jedná o jinak řešené UAV, ale alespoň orientačně.

Británie letos pro svou armádu nakoupila 160 kusů MIKRO UAV vrtulníku od společnosti Prox Dynamics, s průměrem hlavního rotoru 130 milimetrů v ceně zhruba 490 000 Kč za kus [6].

### 3.2 Výběr druhu hmyzu splňující svými schopnostmi stanovené požadavky

Pomocí jednoduchých úvah a pozorování jsem vytipoval 3 druhy hmyzu, kandidáty, kteří by mohli splnit stanovené požadavky. Následně jsem začal o příslušných kandidátech shromažďovat informace a přitom jsem paralelně prováděl jejich pozorování, abych byl schopen jejich schopnosti co nejobektivněji posoudit. Kandidáti a výsledky jsou zapsány v tabulce pod textem.

ŘÁD	VÝSKYT NA ÚZEMÍ ČR?	DOBA ŽIVOTA?	ZNÁMÝ DRUH?	SKVĚLÝ LETEC?	TICHÝ LET?	PŘIJATELNÉ ROZMĚRY?	ROBUSNÍ TĚLO A DRAVEC?
ČMELÁK	ANO	Jaro až podzim	ANO	NE	NE	ANO	ANO/NE
VÁŽKA	ANO	Jaro až podzim	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
MOTÝL	ANO	Jaro až podzim	ANO	ANO	ANO	NE	NE/NE

*Obr. 3.2.1: Vyhodnocení požadavků při výběru hmyzu.*

#### Výsledek výběru druhu

Jak je v tabulce vidět, nejvíce kladných odpovědí má vážka. Proto budu zkoušet napodobovat právě vážku. Po dalších úvahách a shromažďování informací o vážkách, jejich druzích, vlastnostech, výskytu, rozměrů a možnostech. Jsem se rozhodl pro konkrétní druh. Pro šídlo modré.



### 3.3 Studie znalostí o vybraném druhu- šídla modrém



Napodobit let a vzhled šídla modrého je určitě lehčí, když přesně víte, jak vlastní let vzniká, probíhá a jak šídlo modré vypadá. Proto jsem se studiem letu a vzhledu šídla modrého zabýval a vybrané, podstatné, zjištěné informace, které byly využity, prezentuju v této části práce.

V tabulce je biologické zařazení šídla modrého. Technikum se může zdát zbytečné, ale přesvědčil jsem se, že při shánění a ověřování informací ušetří spoustu času, a proto ho zde uvádím.

ŘÍŠE	KMEN	PODKMEN	TŘÍDA	PODTŘÍDA	NADŘÁD	ŘÁD
Živočichové	Členovci	Šestinozí	Hmyz	Křídlatí	Starokřídlí	Vážka
PODŘÁD	ČELEĎ	ROD				
Anisoptera	Aeshidae	Aeshna				

*Tab. 3.3.1: Biologické zařazení šídla modrého [2].*

#### 3.3.1 Základní informace o šídla modrém [2]

##### šídlo modré jako letec

Šídlo modré a všeobecně vážky jsou skvělí letci s perfektní manévrovatelností. Umí létat pozpátku, svisle nahoru, dolů a dokonce i bočně, můžou vyřadit z činnosti druhý pár křídel a pohybovat se jen s pomocí předního páru, můžou plachtit, či vyhýbat se kapkám při méně vydatném dešti. Běžná rychlost letu se pohybuje od 15 do 25 km/h, ale krátkodobě umí letět i 50km/h! Dolet bez mezipřistání je okolo 1000 km, ale může být i až 4000 km.

##### Vývoj a život šídla modrého

Vývojový cyklus šídla modrého je velmi dlouhý a komplikovaný. Vážky ke svému vývoji potřebují stojatou vodu.

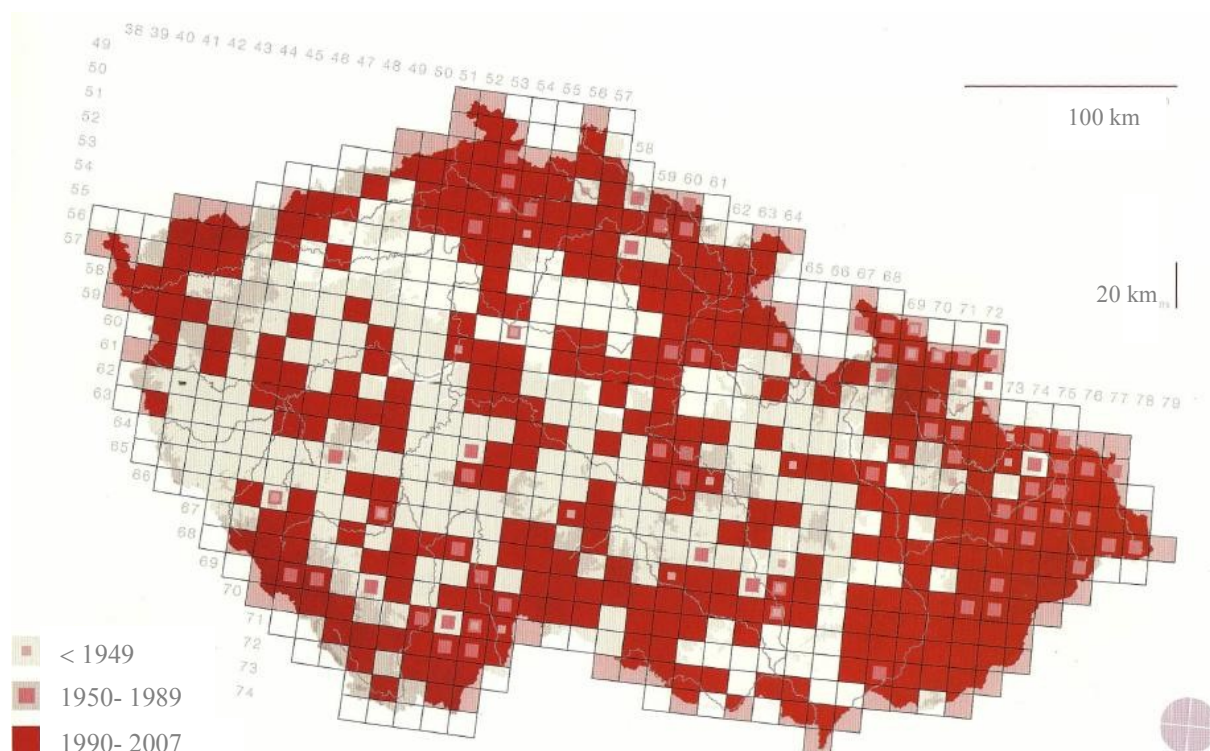
Samičky totiž kladou vajíčka do pletiv rostlin, na větvičky nebo stébla asi 50 mm pod vodní hladinu. Ty pak prodělávají takzvanou diapauzu a jejich vývoj pokračuje na jaře dalšího roku. Z vajíček se vylíhnou larvy, procházející 8 až 15 vývojovými stádii. Tento vývoj trvá od několika týdnů až do dvou let, v závislosti na podmínkách prostředí, zejména teploty vody a

množství potravy. Na konci tohoto vývoje se larva přemístí z vody na břeh a svleče chitinovou vnější kostru. To trvá od několika desítek minut do dvou hodin a během této doby jsou vážky velmi zranitelné. Po vylíhnutí vykazují značnou barevnou odlišnost od vyvinutých dospělců. Úplné vybarvení nastává až po několika dnech v závislosti na počasí. Dospělé šídlo modré pak žije jednu sezónu, ale existují i druhy žijící 10 až 11 měsíců.

Z hlediska potravy jsou vážky nevybíraví dravci. Velikost kořisti nejčastěji tvoří 1/5 až 1/10 hmotnosti těla samotné vážky. Ale není výjimkou i 1/2. Loví letící jedince nejčastěji z řádu dvoukřídlých. Například komáry, ale i jiné vážky.

### Rozšíření a výskyt šídla modrého v České Republice

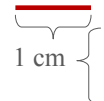
Šídlo modré je druh vážky, která se vyskytuje téměř po celém území České republiky.



**Obr. 3.3.1.1:** Rozšíření šídla modrého [2].

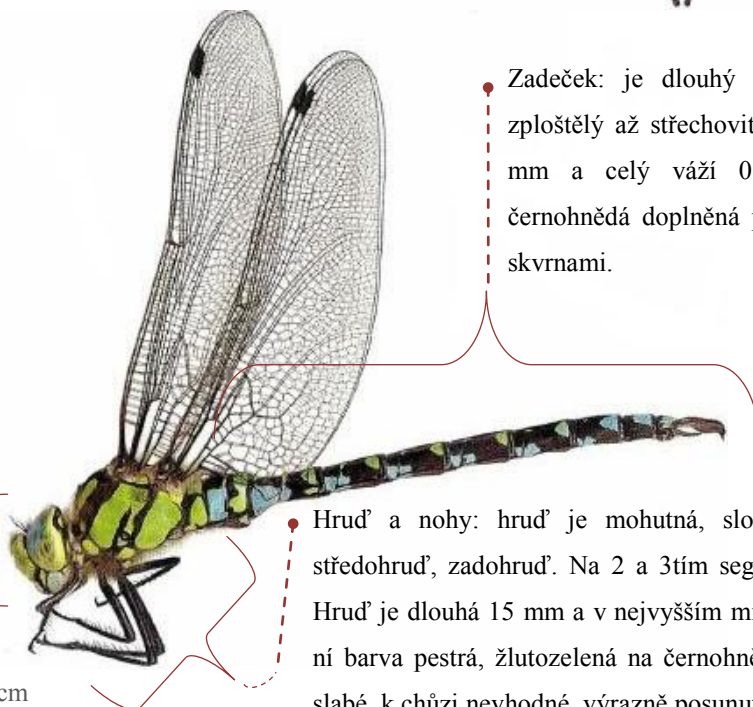
### 3.3.2 Šídlo modré- vzhled, rozměry, hmotnosti [2]

- Křídla: čtyři velmi pevná blanitá průhledná křídla jsou tvořena velkým množstvím polí, cca 300. Přední hrany jsou výrazně vyztuženy a zadní okraje zůstávají volnější. Přední křídla jsou výrazně užší a mají rozpětí 127 mm, součet jejich plochy je  $1417,4 \text{ mm}^2$  a součet hmotnosti 0,01 g. Zadní křídla mají rozpětí 124 mm, součet jejich plochy je  $1676,1 \text{ mm}^2$  a součet hmotnosti 0,014 g.

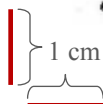


*Obr. 3.3.2.1: Šídlo modré [2].*

- Hlava: je širší než hrud', žlutozelená, polokulovitá o poloměru 6 mm a hmotnosti 0,42 g. Je velmi pohyblivá, lze ji otočit až o  $180^\circ$ . Převážnou její část zabírají dvě velké složené oči. Na jejím čele, které směřuje kolmo k ose těla, jsou dvě krátká, tenká tykadla a 3 jednoduchá očka vytvářející rovnostranný trojúhelník.



- Zadeček: je dlouhý 71 mm, úzký, po bocích mírně zploštělý až střežovitý. V nejširším místě má průměr 5 mm a celý váží 0,073 g. Jeho základní barvou je černohnědá doplněná pestrými žlutozelenými a modrými skvrnami.



- Hrud' a nohy: hrud' je mohutná, složená ze tří segmentů- předohrud', středohrud', zadohrud'. Na 2 a 3tím segmentu jsou svaly přichycené křídla. Hrud' je dlouhá 15 mm a v nejvyšším místě vysoká taky 15 mm. Převládá na ní barva pestrá, žlutozelená na černohnědém podkladu. Nohy jsou poměrně slabé, k chůzi nevhodné, výrazně posunuté dopředu. Hrud' a nohy celkem váží 0,120 g.

*Obr. 3.3.2.2: Šídlo modré [2].*

### 3.3.3 Popis vytváření vztlaku, stability letu a průběhu základních režimů letu [3]

#### Popis vytváření vztlaku

Vážky mávají svými blanitými křídly překvapivě nízkou rychlostí, jen 20 až 40 krát za sekundu. Je záhadou, jak je možné, že těžká vážka vytvoří tolik vztlaku, tak “pomalým” pohybem křídel. Tyto podivuhodné letové schopnosti vážek fascinují odborníky z řad entomologů i leteckých konstruktérů řadu let. Zatím s nejlepším vysvětlením přišli odborníci na aerodynamiku z týmu Abela Vargase z Washingtonské Univerzity.

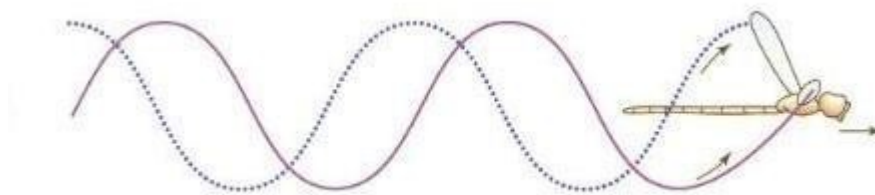
Došli k závěru, že příčinou je žilkování křídel. To na povrchu křídel vážek vytváří až 3000 malých polí, což způsobuje, že povrch křídla není hladký, ale zvlněný. Abel Vargas a jeho tým vytvořily model křídla šídla modrého a pomocí experimentu se jim povedlo potvrdit, že právě v drobných polích, vytvářených žilkami dochází k mikrocirkulaci vzduchu. Ta nejpravděpodobněji stojí za produkci tak velkého množství vztlaku.

#### Popis vytváření stability letu

Pro udržování příčné stability využívají vážky okrajové žilky v konečcích křídel. Tu umí v případě potřeby naplnit lymfou a přesunout tak těžiště během letu. Navíc svaly, které uvádějí do pohybu jednotlivá křídla, jsou na sobě nezávislé a lze je tedy ovládat ve stejném čase každé zvlášť. To dává vážkám možnost stabilizace příčného i podélného náklonu pomocí změny rychlosti mávání jednotlivých křídel. Na podélné stabilizaci se může podílet i zadeček, který vážky umí jakoby rolovat směrem k hrudi.

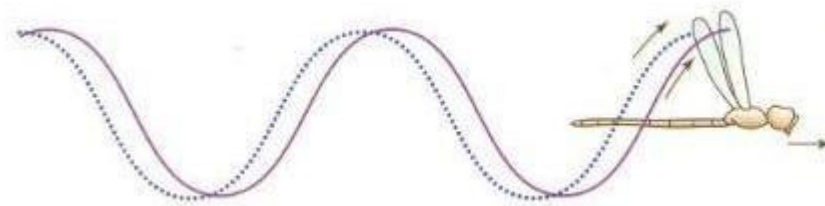
#### Popis průběhu základních režimů letu

**Přímý vytrvalý let:** přední křídla vedou pohyb křídel zadních.



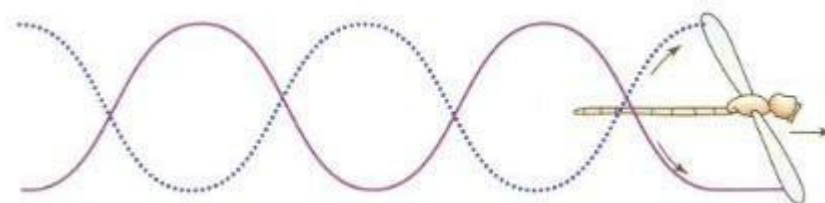
**Obr. 3.3.3.1:** Rozdíly mezi fázemi mávání předních křídel (plné čáry) a zadních křídel (čerkovaná čára) při přímém letu [3].

**Přímý rychlý let:** synchronní mávání předního i zadního páru křídel ve stejném směru a čase.



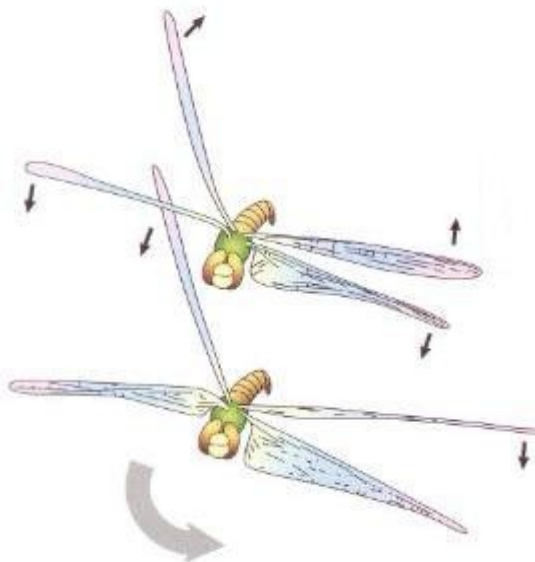
**Obr. 3.3.3.2:** Rozdíly mezi fázemi mávání předních křídel (plné čáry) a zadních křídel (čerchovaná čára) při přímém rychlém letu [3].

**Visení, vznášení se:** asynchronní mávání předního a zadního páru křídel.



**Obr. 3.3.3.3:** Rozdíly mezi fázemi mávání předních křídel (plné čáry) a zadních křídel (čerchovaná čára) při visení [3].

**Zatáčka:** obecně je možné říct, že zpomalení nebo zrychlení mávání na jedné straně těla způsobí otočení. Čím větší je rozdíl v mávání, tím větší je rychlost a intenzita otáčení.



**Obr. 3.3.3.4:** Pohyb křídel při zatáčení. Černé malé šipky ukazují směr záběru, pohybu křídla. Velké šedé šipky ukazují směr zatáčení [3].

Bohužel se mi nepovedlo zjistit údaj pro šídlo modré ale menší vážky- Šídelka potřebují jen jedno mávnutí křídly k otočení o  $180^\circ$  a jeden a půl mávnutí pro  $360^\circ$ . To dokážou za cca 0,05 s a neztratí při tom žádnou výšku. Dosahují toho zvýšením úhlu mávání na jedné, či druhé straně.

Vážky jsou ale schopné provádět zatačky i jiným způsobem. Při rychlém letu dopředu umějí provést náklon na stranu, jako letadlo. To vede také k otáčení okolo svislé osy a je to u vážek velmi využívaný manévr. Z aerodynamického hlediska je tento způsob zatočení ekonomičtější, ale neumožňuje provádět zatačky s malým rádiusem a ostré změny směru.

Náklon umí vytvořit také nastavením křídla na jedné straně těla v negativním úhlu náběhu. Proud vzduchu při tom narazí na horní povrch křídla, které srazí směrem dolů. Tento manévr, ale ubírá výšku.

### Průběh vlastních experimentů pro ověření způsobu vytváření vztlaku, stability letu a průběhu základních režimů letu

Šídlo modré je druh vážky, který se ve volné přírodě chová velmi aktivně, téměř jej nejde spatřit v klidu.

Musel jsem tak vymyslet vhodnou pozorovací metodu. Jinak bych nebyl schopen jej pozorovat a zjistit, jak se během letu chová.

Navrhl a vytvořil jsem proto tři pozorovací zařízení. Ty jsou částečně svým tvarem, ale také tím, že jsou celá ze skla velmi podobná akváriím. Mají však specifické rozměry dané režimem letu, který v nich má být testován. Navíc jejich jedna strana byla potažena milimetrovým papírem, který sloužil jako reference.

Celý průběh testu měl být zaznamenáván vysokorychlostní kamerou. Konkrétně přenosným typem FASTEC TS3 100-S. Tento typ byl vybrán, protože jej je možné provozovat i bez stálého napojení na počítač a díky integrovanému zdroji energie je možné s ní i cestovat a natáčet i v přírodě.



Parametry vysokorychlostní kamery FASTEC TS3 100-S:

- Maximální rozlišení 1280x 1024
- Maximální rychlost záznamů 98 000 snímků/ sekunda
- Maximální rychlost záznamů při maximálním rozlišení 500 snímků/ sekunda
- Vestavěná obrazovka 7"
- Napájení Li-Ion baterií s kapacitou na 4 hodiny provozu
- Komunikace s počítačem pomocí USB

Vyhodnocení zaznamenávaného materiálu mělo probíhat pomocí softwaru pro rozbor zaznamenaných videosekvencí s možností měření rychlosti vektoru zrychlení.

Celý experiment bohužel nabral jiný průběh. Během něj se ukázalo, že využitelné období živého materiálu je velmi krátké. (cca 2 hodiny, pak musel být vrácen do přírody). Tady vznikly i první úvahy a pokusy o jeho chov.

Dále se vedle snahy o vývoj a stavbu různých pozorovacích zařízení, nedaří v kontrolovaném prostoru přinutit hmyz k letu.

Tyto postupy, je ale nutno vyřešit prvofázově a dosáhnout vysoké spolehlivosti opakování. Hlavním důvodem k řešení jsou otázky ekonomické, protože provozní den vysokorychlostní kamery v pronájmu se pohybuje v řádech tisíců. Tady nastává časová tíseň, protože se nedaří dosáhnout požadovaného chování hmyzu. Tento tlak mě nutil zabývat se i možnostmi chovu, což při dravosti zvoleného hmyzu a způsobu získávání potravy pouze za letu staví další značnou překážku do cesty. Za tímto účelem jsem se rozhodl postavit chovné zařízení, které se zatím nepodařilo včas vyladit do reprodukční podoby a na nový materiál bylo nutné čekat do příštího roku. Tato skutečnost sice poskytla prostor pro teoretické studium, ale zbrzdila zcela experimentální fázi a zároveň ukázala na časový rozsah prací, který překračuje dobu studia. V současné době soustředím síly na vývoj nové metody pozorování, která by neměla mít chyby té současné.

### 3.4 Materiálová studie k stavbě MIKRO UAV

#### 3.4.1 Pohon

Vážky dokážou svá velká blanitá křídla nezávisle na sobě rozpohybovat v úhlu 70 až 90°, takže při 20 až 40 oscilacích křídla za sekundu to dává rychlost špičky křídla cca 4 m/s. Vážky jsou v případě potřeby větší rychlosti letu úhel oscilace zvětšit na 105 až 135°- špička křídla tak může dosahovat i rychlosti 7 m/ s.

Jak tedy pohánět tak rychle, tak velká křídla neslyšně a nezávisle na sobě? V současné době nejvíce přemýšlím a stále více se mi zamlouvá myšlenka pohonu křídel pomocí velmi úzkého a tenkého bimetalového pásku. Jeho deformace by se dalo dosáhnout i pomocí krátkého elektrického zkratu. Ale teprve experimentální fáze a zkoušení vhodného materiálu ukáže, jestli to je možná cesta.

#### *Poznámka:*

*Bimetalový pásek je pásek složený ze dvou různých kovů o různých tepelných roztažnostech. Oba kovy jsou spolu po co největší ploše spojeny (například slisováním, nebo plošným svarem). Při ohřívání nebo ochlazování takového pásku dochází díky různé roztažnosti každého kovu k deformaci- ohnutí pásku. Vrstva kovu z materiálu s větší tepelnou roztažností se nazývá vrstva aktivní a ta s menší tepelnou roztažností vrstva pasivní. Vhodnou kombinací a rozměry aktivní a pasivní vrstvy jsem schopni dosáhnout různého průběhu a charakteristiky deformace.*

#### 3.4.2 Energetické zdroje

V prvních fázích projektu počítám s externím zdrojem. S ním experimentálně stanovím potřebné množství elektrické energie zdroje pro pokrytí minimálních potřeb stanovených v kapitole: 3.3 Analýza požadovaných a limitujících vlastností MIKRO UAV.

S externím zdrojem bude pravděpodobně zprvu probíhat i průběžné prověřování funkčnosti a doufám, že i první letové zkoušky.

Paralelně s tím bude probíhat výběr nejvhodnějšího zdroje. V současnosti prověřuju možnosti uplatnění běžně dostupných, komerčně vyráběných, jednorázových knoflíkových baterií primárně určených pro náramkové hodinky. Těchto baterií je velké množství typů a jejich nespornou výhodou je snadná dostupnost a relativně nízká pořizovací cena, pohybující



se v řádech desítek korun. Konkrétně se nyní zajímám o baterii Gp 377 založenou na bázi oxidu stříbra. Ta má průměr 6,8 a výšku 2,6 mm, napětí 1,55 voltů, kapacitu 25 mAh při zatížení 50 kOhm. Váha této baterie je 0,320 gramů.

Jestli tento směr vedoucí cestou komerčně vyráběného, dostupného energetického zdroje má budoucnost se projeví časem. Ale už nyní prověřuju i jiné možnosti.

Možnosti alternativního zdroje energie, respektive nějaké chemické reakce produkující využitelnou energii jsem konzultoval s Ing. Julii Dombkovou, která působí v oblasti chemie, technologie a vlastnosti materiálu. Ta po úvaze došla k závěru, že přes chemickou reakci je to vcelku náročné. Musí se totiž jednat o nějakou silně exotermickou reakci. To je většinou reakce například kyselina do vody, nebo hašení vápna, ale aby bylo možné toto vyloučené teplo kompletně převést na práci pomocí výměníku, musela by reakce proběhnout ve vakuu. S ohledem na hmotnost do 1 gramu je prý nemožné převést kompletně teplo na práci.

*Poznámka:*

*Exotermická reakce je chemická reakce, při níž se uvolňuje energie, nejčastěji ve formě tepla. Jejím opakem je endotermická reakce, kde musíme teplo dodat, aby proběhla. Typickou exotermickou reakcí je proces hoření látek.*

Další možností je, že než se do fáze aplikace energetického zdroje dostanu. A to může trvat pravděpodobně ještě několik let. Pokročí současný stav energetických zdrojů natolik, že bude možno použít nějaký jiný, nový, lepší zdroj energie. Už nyní se rysuje možnost využít tak zvané superkondenzátory.

*Poznámka:*

*Superkondenzátor je elektronická součástka, schopná uskladňovat v sobě elektrický náboj. Uskladněné množství náboje je velmi malé. Abychom tak dosáhli využitelného množství elektrického náboje, musíme jich do obvodu zapojit obrovské množství. To je u superkondenzátoru možné. Mají totiž MIKRO, respektive NANO rozměry. Na povrch jednoho cd disku se jich vejde 100 o síle jednoho atomu grafitu. K masovému rozšíření by mělo podle odhadů dojít během pěti let.*

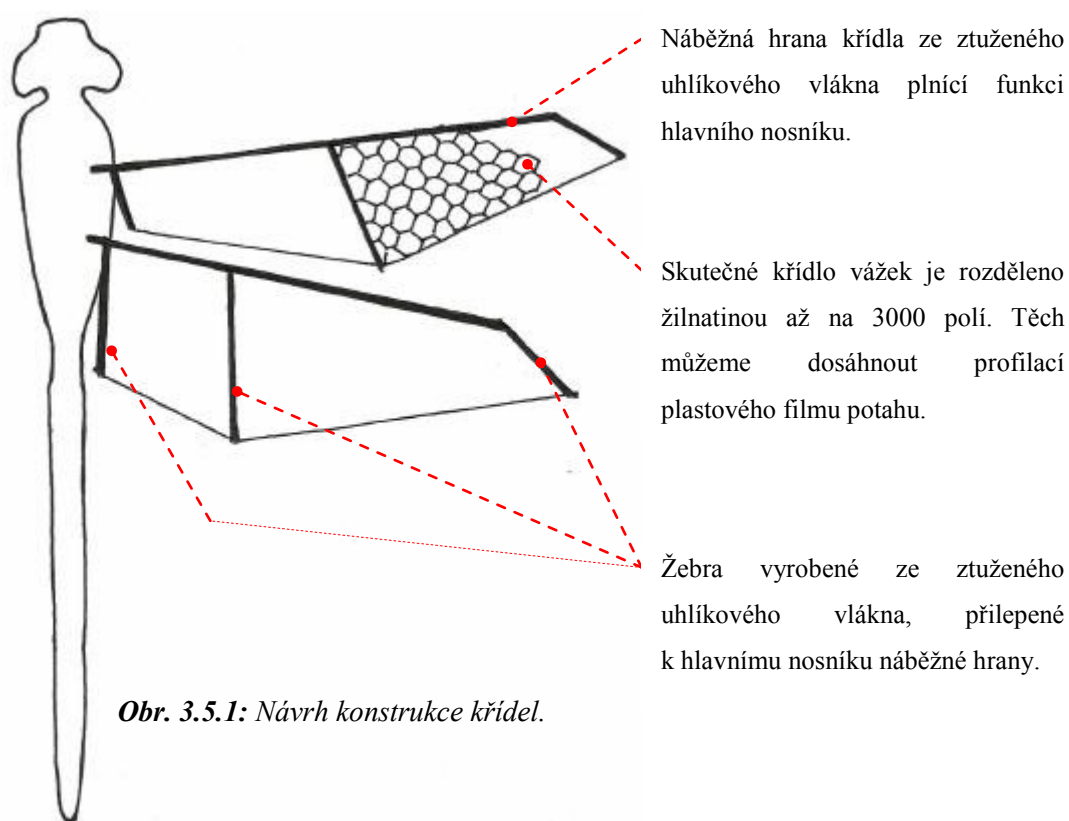
### 3.5 Stavební materiály

#### Křídla

Kostra křídel by mohla být vyrobena ze ztuženého uhlíkového vlákna a potah křídla by mohl tvořit tenký film, s největší pravděpodobností vyrobený z lehkého plastu.

Výsledné křídlo by mělo mít pevnou náběžnou hranu a směrem k hraně odtokové by mělo být volnější, tak jako skutečná křídla vážek.

Toho bychom mohli dosáhnout, právě když přední náběžnou hranu vyrobíme z uhlíkového vlákna a potah křídla napneme mezi tři “podélné” žebra, která budou přilepena k vláknu náběžné hrany.



**Obr. 3.5.1:** Návrh konstrukce křídel.

Vlastnosti vyrobeného křídla by se měli co nejvíce přiblížit originálu. Tedy:

- Přední křídla výrazně užší, rozpětí cca 127 mm, součet jejich plochy cca 1417,4 mm<sup>2</sup> a součet jejich hmotnosti cca 0,01 g.
- Zadní křídla rozpětí cca 124 mm, součet jejich plochy je cca 1676,1 mm<sup>2</sup> a součet jejich hmotnosti cca 0,014 g.

### Hlava, hrud', zadeček

Základní stavební látkou pro hlavu, hrud' a zadeček by mohla být celulóza. Představuji si, že by byla slisovaná do ultra tenké desky. V tomto případě by pak montáž částí mohla vypadat jako skládání origami. S tím, že zde by se používalo i řezání a lepení. Mohlo by také jít o celulózu ve formě tekutiny s vytvrzením za tepla. V tomto případě by se jednotlivé části daly vyrábět tlakovým vstřikováním do formy s následným tepelným vytvrzením.

Vlastnosti vyrobené hlavy, hrudi, zadečku by se měli co nejvíce přiblížit originálu. Tedy:

- Polokulovitá hlava o poloměru cca 6 mm a hmotnosti cca 0,42 g.
- Mohutná hrud' dlouhá cca 15 mm a v nejvyšším místě vysoká taky cca 15 mm s hmotnosti cca 0,096 g.

### Nohy

Nohy tvoří přistávací segment vážky, ale dalo by se snadno s jejich pomocí částečně měnit i těžiště.

Při jejich výrobě by se taky dalo dobře využít ztužené uhlíkové vlákno.

Jejich vlastnosti, tedy vlastnosti vyrobených nohou by se měli také co nejvíce přibližovat originálu. Tedy:

- Spíše slabší, výrazně předsunuty dopředu, hmotnost 0,024 g.

### Poznámka:

*V současné době ještě řeším odhad hmotnosti draku a takto zkonstruovaného MIKRO UAV. A i přesto, že váha byla jedním z hlavních parametrů při výběru materiálu. Může se lehce stát, že hmotnost výsledného draku a pro let nutné výstroje UAV bude větší, než výsledný vztlak. Bude velkým oříškem jí postupnými kroky a opakovanými pokusy snižovat. Uvažuji tak o možnosti naplnění částí těla stroje héliem, které by mohlo pomoc dostat případnou nadváhu pod kontrolu.*

## 3.6 BioKybernetizace

### Definice BioKybernetizace

Je uměle, účelně vytvořené spojení techniky a živého organismu. Takovéto spojení má nejrozumnější účely. V našem případě cílené řízení daného organismů.

### BioKybernetizace- přínosy a hrozby

- Odpadl by nákladný- dlouhý vývoj a výroba MIKRO UAV.
- BioKybernetizace se může ukázat jako velmi ekonomicky výhodná při zvládnuté technologii chovu a provedení.
- Přínos v mnoha oblastech vědy, například biologie, mikroelektroniky, biomedicíny, umělé inteligence a v mnoha a mnoha dalších oblastech
- Využití například jako zdroj potravy, který je možno dopravit do potřebných míst “po svých“, použití jako velmi rafinovaných senzorů a mnoho dalších využití.
- I když to na první pohled vypadá, že převažují výhody, tak hrozby jsou nezanedbatelné. Například sporná Biokybernetizace lidí. Také může dojít k zvrhnutí směrem, který v současné době třeba ani nejsme schopni definovat.

### 3.6.1 Princip a provedení Biokybernetizace

#### Princip BioKybernetizace

Princip je jednoduchý. Do příslušného řídicího centra živého organismu ovládajícího orgány (například část mozku ovládající aktivitu křídel), které chceme ovládat, jsou v intervalech přiváděny slabé elektrické impulsy. Ty fungují jako stimul pro příslušné řídicí centrum, které tak vydá skutečný impuls k onomu orgánu a tím dochází k jeho aktivaci nebo deaktivaci.

#### *Příklad principu řízení:*

*Máme letící hmyz a chceme, aby zahnul doprava. Vyšleme tedy signál, pomocí něhož mu zpravidla rázovými deaktivacemi snížíme počet kmitů pravého křídla. A tím dojde k jeho stočení doprava.*

#### Provedení Biokybernetizace

Provedení je poměrně složité a v mnoha ohledech náročné. Znamější varianta spočívá v aplikaci mikro řídicího systému (zpravidla v podobě mikro čipu) spolu se zdrojem na záda

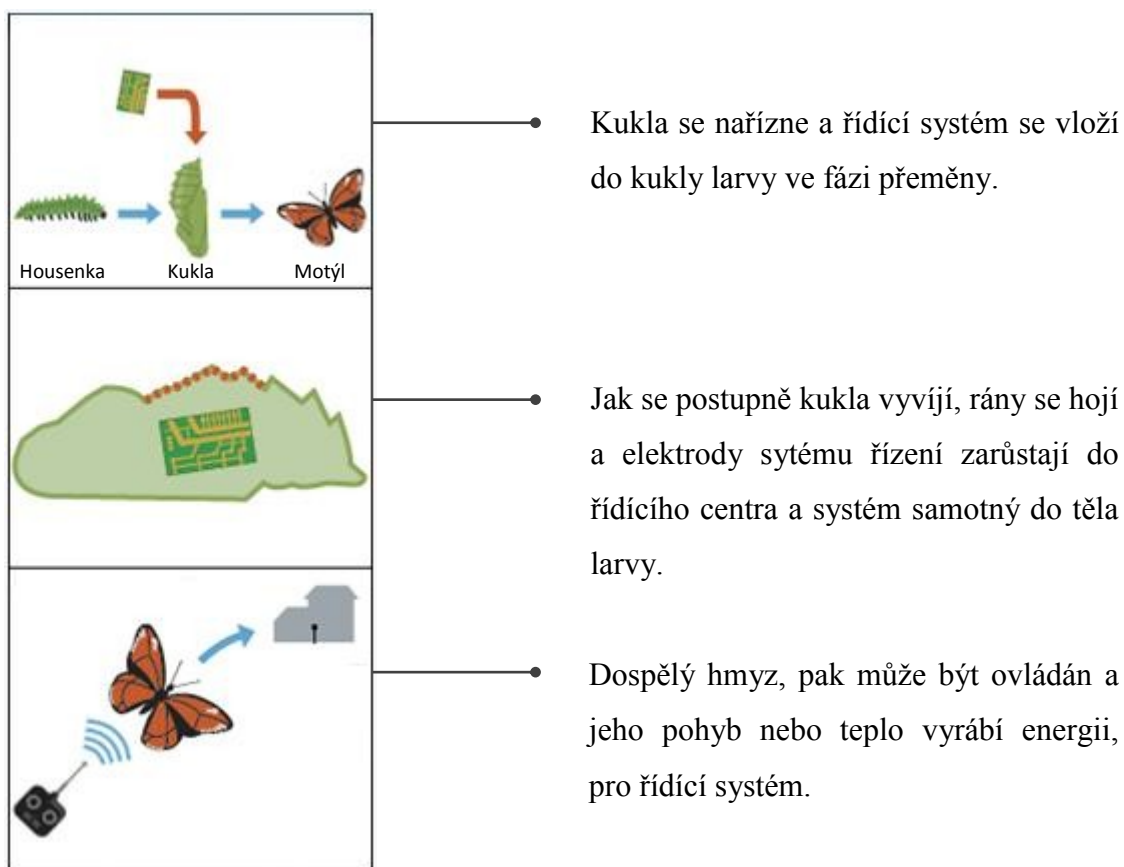
organismu (u lezoucího hmyzu) a aplikaci elektrod do řídicího centra. Do řídicího systému jsou na dálku přenášeny povely, které systém převede na elektrické impulsy. Ty fungují jako stimuly pro příslušné řídicí centrum, do něhož jsou přiváděny pomocí elektrod.

Po zvážení mi dostupných informací. Jsem dospěl k závěru, že nejpropracovanější provedení Biokybernetizace má Americká DARPA (Defence Advanced Research Projects).

*Poznámka:*

*DARPA (Defence Advanced Research Projects) neboli agentura pro výzkum pokročilých obranných projektů, je agenturou Amerického ministerstva obrany a je zodpovědná za vývoj nových vojenských technologií. Zajímavé je, že při zhruba 250 zaměstnancích téměř nemá hierarchickou strukturu- to v ní umožňuje rychlý přenos nápadů a informací. Ty čas od času získává pomocí pořádání velmi zajímavých soutěží.*

Náskok provedení DARPY je v čase spojení řídicího systému a živého organismu. Proces je popsán na obrázku pod textem.



**Obr. 3.6.1.1:** Proces Biokybernetizace [12].

### 3.6.2 BioKybernetizace- chov vážek

Aby byla BioKybernetizace vážek v praxi použitelná je třeba mít dobře zvládnutý celý její průběh. To znamená technicky zvládnutý řídicí systém, jeho aplikaci, ale také samotný chov vážek. Je však chov dravých vážek možný? To jsem vyzkoušel a své dosavadní poznatky popisuju níže.

#### *Poznámka:*

*Chov vážek je tak specifická činnost, kterou nikdo běžně nedělá. Nepovedlo se mi najít někoho, kdo by se chovem vážek někdy zabýval. Vše tak probíhalo experimentálně a ne vše vyšlo. Prezentuji zde tak své dosavadní zkušenosti, postřehy a řešení, ale netvrdím, že neexistují lepší.*

#### Potrava vážek

Potravou- vážek je zpravidla hmyz (často i jiná vážka), nejčastěji velikosti  $\frac{1}{5}$  až  $\frac{1}{2}$  hmotnosti těla vážky- lovce.

Při vlastním chovu jsem použil mušky octomilky. Chov octomilek je dokonale zvládnutý a zabývají se jím hlavně teraristi, například známý RNDr. Vladan Škrobánek. Chov octomilek a pravidelný přísun potravy tedy nepředstavuje až takový problém. Navíc mi pan Josef Mazurek- chovatel poradil naprosto jednoduchou fintu, jak octomilky chovat.

Stačí vzít velkou zavařovací sklenici, naplnit ji cca z  $\frac{1}{3}$  přezrálým, nebo nahnílým ovocem a přes její otvor přetáhnou punčochu a zajistit gumičkou. Do týdne je pak sklenice plná octomilek.

Avšak v průběhu chovu vážek jsem dospěl k závěru, že Octomilky nejsou příliš vhodnou potravou kvůli jejich drobnosti. A příště bych pravděpodobně spíše použil mouchy bzučivky, které se běžně dají i koupit.

#### Vybudování odchovny

Vážky je samozřejmě potřeba někde chovat. Je tedy třeba vybudovat odchovnu. Jde však o tak specifickou činnost, že jí nikdo zřejmě nedělá. Pravděpodobně proto se mi nepodařilo dohledat jakékoliv parametry, které by měla taková odchovna splňovat. Vlastně se ani nepodařilo najít někoho, kdo by se touto problematikou zabýval.

Pro vybudování odchovny je ideální místnost, kde lze snadno regulovat teplotu a světlo. V mém případě posloužila ne úplně ideální, starší odchovna akvarijních ryb. V ní jsem vybudoval mojí první odchovnu vážek.

Odchovnu tvoří dřevěná konstrukce potažená bílou látkou a na přední straně je do plátěné stěny všíty zip. Ten slouží jako vchod a východ z odchovny. K vytápění a částečně i regulaci teploty slouží plynové topení. Osvětlení je zajištěno 30 wattovou zářivkou Life-Glo se speciálně upraveným spektrem napodobující část spektra slunečního záření. Vnitřní prostor odchovny je napodobením přirozeného prostředí vážek. Je vybaven nádrží se stojatou vodou a spoustou vegetace.

Odchovnu se však včas nepodařilo vyladit do reprodukční podoby a na nový materiál bylo nutné čekat do příštího roku.

Příčinou s největší pravděpodobností byla:

- Špatná regulace teploty. Zejména přes noc se nedařilo vnitřní prostor odchovny ochladit a simulovat tak přirozené prostředí vážek.
- Stres při přechodu vážek do nového, menšího prostředí a nedostatku potravy.



***Obr. 3.6.2.1: Odchovna vážek.***

## Odchyt vážek

Pro rozjetí chovu vážek je samozřejmě třeba mít nejméně dvě vážky- samce a samici. Je možné a možná i lepší variantou začít chov s larvami, ale u nich laik těžko pozná o jaký druh vážky, se ve skutečnosti jedná. Proto jsem začal odchytom dospělců. Chytit vážku není lehké, ale člověk se u toho někdy docela pobaví a zasměje.

Jako první je důležité vytipovat správnou lokalitu. Vážky téměř vždy najdeme u velkých stojatých vodních ploch. Já si vybral vodní plochu, vzniklou po těžbě štěrku (tzv. "Štěrkáč") nedaleko Dolního Benešova.

Moje první pokusy odchytu se odehrávaly okolo sedmé hodiny ranní, kdy je venku relativně chladno a prokřehlé vážky nemůžou létat (k letu potřebují teplotu 14°C a velké druhy až 20°C). Vylézají pak na vrcholky vysoké trávy v okolí vodních ploch, kde je pomalu vycházející slunce zahřeje.

Tuto taktiku většinou volí fotografové vážek. Mě se ale vůbec neosvědčila. Jak jsem později zjistil, v trávě většinou přespávají jen menší druhy vážek. A ty velké, jako je i šídlo modré častěji v korunách stromů.

Naopak velmi úspěšná byla taktika odchytu vážek za letu do velké sítě. Nejlépe v době poledne, kdy sluníčko pěkně hřeje a vážky jsou aktivní.



## Chov vážek

Samotný chov během první sezóny nepřinesl očekávané výsledky. Ale i přesto poskytl cenné informace o tom, co funguje a kudy cesta nevede.

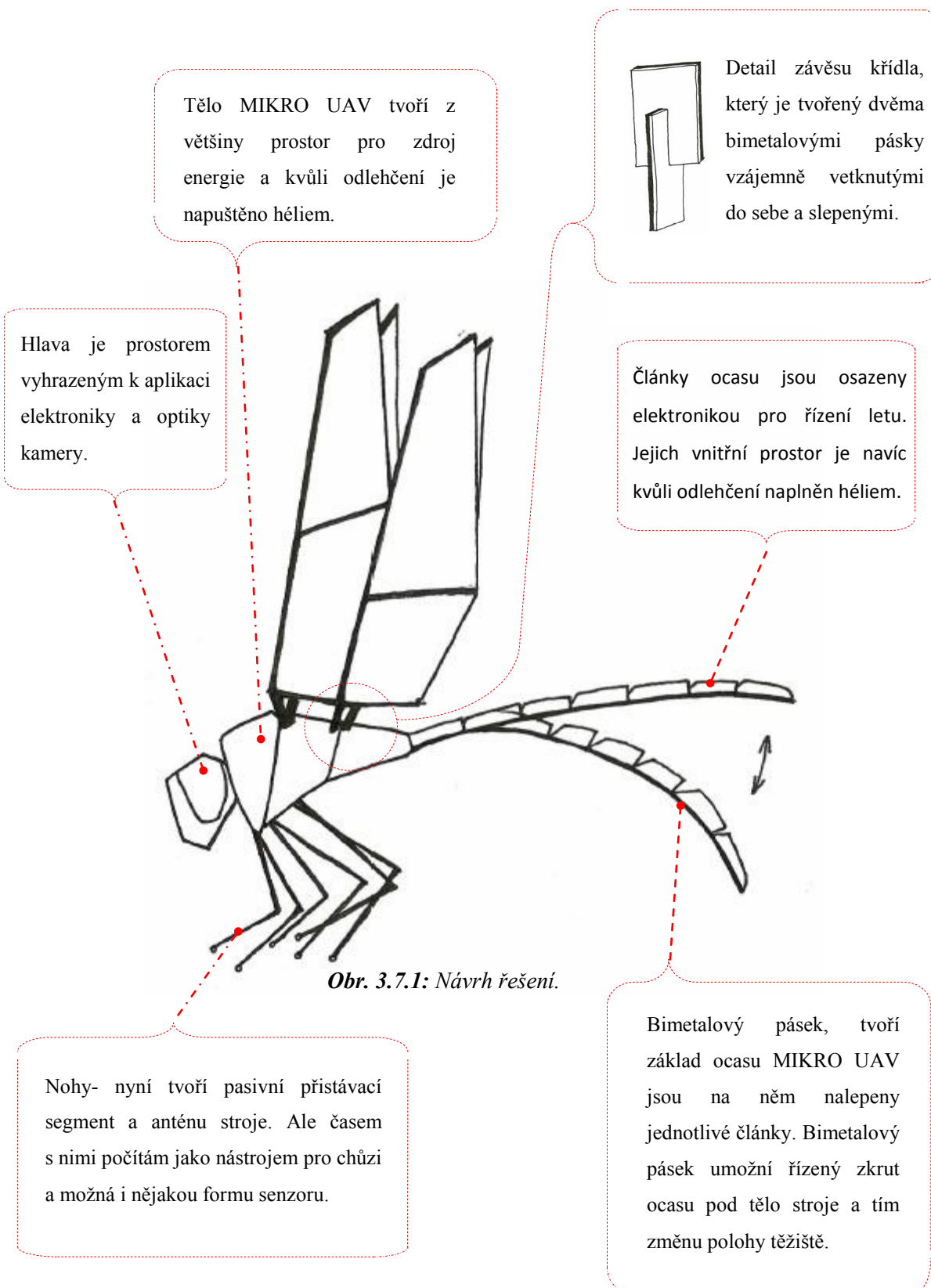
Shrnutí poznatků získaných během chovu:

- Jako špatný se ukázal účelně vytvořený relativně malý vnitřní prostor odchovny, kterým jsem chtěl dosáhnout lepšího pozorování vážek.
- Další problém nastal, s regulací teploty v noci. Jelikož odchovna byla vybudována v odchovně tropických akvariálních ryb, nebylo možné dostatečně snížit noční teplotu na požadovanou hodnotu a simulovat tak přirozené prostředí vážek.
- Jako problém se nakonec projevil i stres, vyvolaný odchylem a rychlou změnou životního prostředí.
- Chov byl špatně načasován. Díky dlouhé přípravné fázi byl chov prováděn až na konci sezóny vážek a tedy i jejich životního cyklu.
- Velkým problémem je opět otázka jak přinutit vážky k letu, samotná létající potrava jako stimul nestačila.

Po zvážení současných nedostatků chovu bych viděl jeho následující možnosti a průběh zhruba následovně:

- Protože v odchovně tropických ryb jsme nebyli schopni dostatečně kontrolovat teplotu, možná by se osvědčila chladnější místnost vytápěná na nižší teplotu, kde bude možnost nasimulovat naopak růst teplot třeba zářením infralamp. Namísto snahy se teplotu snižovat.
- Další cestou by mohlo být využití klimaboxu. Kdy klimabox je box, primárně určený pro provádění laboratorních pokusů s rostlinami a umožňuje vytvoření umělých životních podmínek. To znamená regulaci teploty, vlhkosti, světla a mnoha dalších parametrů. Tyto boxy, mají rozměry od malých, podobných mikrovlnce, až po velké místnosti.
- Kdybychom se rozhodli jít cestou jen sezónního chovu, který by sloužil jen pro pozorování a natáčení vážek bylo by asi nejlepší vybudovat exoinsektárium. Exoinsektárium je velká venkovní “voliéra“ určená pro chov hmyzu. V něm bychom se nemuseli starat o regulaci podmínek životního prostředí vážek. Ale má již zmiňovanou nevýhodou sezónnosti.

### 3.7 Návrhy na řešení



### 3.8 Rekapitulace a stanovení dalších cílů

#### Rekapitulace práce

- Jako první jsem se vydal směrem potřeb trhu. Ověřil jsem si, zda je po takovémto specifickém produktu poptávka. Provedený průzkum trhu poptávku nejen potvrdil, ale přinesl i informace o požadavcích potenciálních uživatelů na budoucí produkt. Všechny získané informace jsem přehledně shrnul v tabulce. Bohužel někteří oslovení odpověděli s velkým zpožděním a jejich odpovědi už jsem nestihl zapracovat.
- V další fázi provádím analýzu zjištěných požadavků. U některých musím definovat minimální přípustné hodnoty. Pod ně by pak byl výsledný produkt prakticky nepoužitelný. Tyto hodnoty stanovuji já. Potenciální uživatelé totiž své požadavky nekvantifikovali. Minimální hodnoty určuju vzhledem k referenci. Tou je jeden z pravděpodobných účelů budoucího MIKRO UAV a sice mapování vnitřních prostor budov.
- K požadavkům na vlastnosti přidávám požadavky na výběr konkrétní druhu hmyzu. Po shromáždění dostatku informací a důkladném zvážení výsledků, vybírám druh hmyzu, který bude předmětem napodobení.
- Vybrána je vážka- šídlo modré, neboli Aeshna cyanea, patřící mezi velké druhy vážek a brilantní letce.
- Postupně o šídlu modrém sbírám všechny důležité informace, které pak v práci prezentuju. Hlavně se zajímám o rozměry, vzhled, hmotnosti, ale i výskyt. Zvláštní kapitolu pak věnuji studiu a popisu vytváření vztlaku, stability letu a průběhu základních režimů letu. Všechny tyto vlastnosti se snažím zjistit z vlastního pozorování a experimentů, ale to se nedaří. Narážím na řadu problémů vedoucích k hledání cest, z nichž některé se po čase ukázaly jako slepé. Ale i negativní výsledek je směřování k cíli. Později začínám shromažďovat prakticky všechny sehnatelné materiály, abych co nejlépe popsal problematiku této kapitoly. Zároveň se poprvé a naplno projevuje časová náročnost práce a polyká mé finanční prostředky bez záruky na úspěšnost prací.
- Následuje materiálová studie, v které navrhuju možnosti pohonu, energetických zdrojů a stavebních materiálů.
- Konstatuju, že řešením může být i vydání se směrem Biokybernetizace. Vysvětluji její princip, přínosy, hrozby a pokouším se založit chov vážek.
- V poslední kapitole: Návrhy řešení je náčrt se stručným popisem, jak by mělo výsledné MIKRO UAV být provedeno.

### Moje další cíle při návrhu MIKRO UAV

- Průzkum možnosti v oblasti řídicího systému.
- Pokračovat v komunikaci v oblasti senzorů a možností přenosu dat.
- Pokus o první zhotovení prototypu křídel a těla.
- Ověření funkčnosti návrhu pohonu pomocí bimetalových pásků
- Zhodnocení poznatků nabitých při prvních pokusech chovu, pozorovacích zařízení a vytvořit funkční chov a pozorovací zařízení.
- Uskutečnění natáčení vysokorychlostní kamerou a pokus o zachycení průběhu mikroskopického proudění v polích křídel vážky.

## **4 Postup profesora Roberta Wooda při návrhovém procesu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu [7], [9], [10]**

### **4.1 Představení projektu a výběr druhu hmyzu**

#### **Zaměření a odpovědná osoba za projekt**

Jedná se o projekt zaměřený na napodobení letu hmyzu. Projektu se účastní tým čítající 51 lidí z nejrůznějších oborů. Zejména biologie, elektro inženýrství, materiálového inženýrství informatiky, matematiky a dalších. V současnosti projekt vede prof. Robert Wood, proto jsem jej nazval projektem profesora Roberta Wooda. Ale z komunikace s jeho spolupracovníky jsem se dozvěděl, že projekt nevedl po celou dobu. Projekt vznikl v roce 1998 v laboratoři MIKRO robotiky Harvardské Univerzity, která jej zastřešuje a finančně podporuje dodnes. Profesor Robert Wood je v čele tohoto projektu od roku 2005 až do dnes. Projekt tedy probíhá už 15 let.

#### **Cíl projektu**

Primárním cílem projektu je napodobit let a velikost hmyzu tak, aby byl prakticky využitelný. Přičemž Wood a jeho tým počítají s využitím a přínosu především při:

- Distribuovaném monitorování životního prostředí.
- Vyhledávání a záchranných operací.
- Při umělém opylování plodin.
- Při vývoji a výrobě nových materiálů a technologií.
- Průzkumu nebezpečných prostředí.
- Provádění vojenského průzkumu.
- Mapování počasí a klimatu.
- Monitoringu dopravy.
- Nicméně tvrdí, že při vývoji může dojít k objevení ještě mnohem výraznějšího využití.

#### **Výběr druhu hmyzu**

Jaký hmyz byl v projektu profesora Wooda pro napodobení ve skutečnosti vybrán, je pro mě v současnosti trochu záhadou. Je jisté, že jde buď o mouchu, nebo včelu. Dostupné internetové stránky a informace přímo z Harvardské Univerzity se v tomto liší. Jedny píší o mouše, druhé zase o včele. Princip letu mouchy a včely bude pravděpodobně dost podobný,

ne-li stejný. I když se mi podařilo, s lidmi z týmu profesora Wooda navázat komunikaci zajímal jsem se o jiné věci. Postupem času jsem však došel k závěru, že nejdříve šlo o mouchu a později z důvodu výzkumu možnosti a využití kolektivního chování o včelu. To je ale jen moje úvaha a závěr. Nicméně tento projekt mojí práci výborně poslouží i bez této informace.

### Studium vybraného hmyzu

Začínali úplně od nuly, ale měli velkou výhodu, že se mohli opřít o základnu odborníků na biologii a aerodynamiku (a dalších odborníků) harvardské univerzity.

## 4.2 Materiálová studie

### 4.2.1 Pohon

Každé z dvou křídel je nezávisle na tom druhém poháněno, pomocí dvou, piezo elektrických pohonů. Jejich spotřeba vztažená k výkonu je poměrně malá a reakce na elektrické pole velmi rychlá. Zároveň z hmotnosti celého MIKRO UAV, která je 80 mg lze si domyslet, že se jedná i o pohon s malou hmotností.

#### *Poznámka:*

*Piezo elektrický pohon, pracuje na principu, který v roce 1880 objevil Pierre Curie. Při přiložení napětí vznikají působením elektrického pole uvnitř krystalu mechanické deformace.*

*V tomto případě se jedná o pásy keramiky, které se roztahují a smršťují při použití elektrického pole.*

### 4.2.2 Energetické zdroje

Létající prototypy jsou stále při letu připoutány k zemi pomocí velmi tenkého napájecího kabelu. Současný létající prototyp nedokáže nést svůj vlastní zdroj energie, a proto se používá externí. Nejmenší vhodná, dostupná baterie světa totiž prý váží 0,5 gramů, což několikrát převyšuje nosnost prototypu MIKRO UAV týmu profesora Wooda. Zatím prý nenašli, žádné vhodné řešení pro skladování energie, které by bylo tak malé, aby jej bylo možné umístit do těla jejich MIKRO UAV. Proto zároveň pracují na vývoji MIKRO

palivových článků s vysokou energetickou hustotou díky, které by MIKRO UAV mohlo létat nezávisle.

#### **4.2.3 Stavební materiály**

##### **Křídla**

Jsou vytvořena z několika vrstev ultra tenkého polyesterového filmu a vyztužují je žebra z uhlíkových vláken. K tělu jsou připojena závěsy z tenkého plastu. Ty jsou na jedné straně vložené do těla (rámu) a slouží jako klouby.

##### **Tělo**

Tvoří jej prostorový rám vyrobený pop-up technikou, která je popsána níže. Výsledný materiál rámu je údajně složen z 18 vrstev. Jednotlivé vrstvy jsou z uhlíku, kaptonu- speciální fólie, titanu, mosazi. Nicméně se mi od nikoho z týmu Prof. Wooda nepodařilo dostat potvrzení nebo vyvrácení této informace.

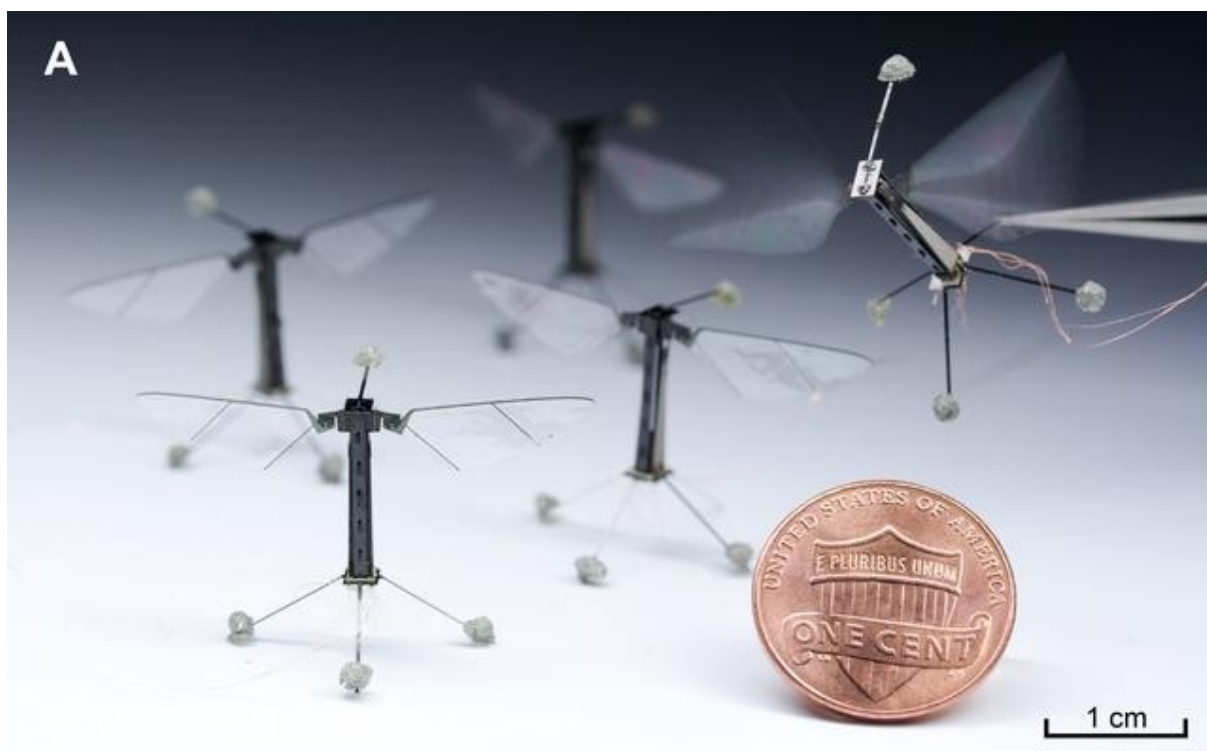
### **4.3 Pop-up technika výroby**

Jedná se o absolutní špičku mezi MIKRO technikou výroby. Vznikla v Harvardských laboratořích v roce 2012. Spočívá, ve skládání tenkých vrstev libovolných materiálu na sebe. Ty jsou pak do sebe “zalaminovány“, tak že tvoří jednu jednotnou desku. Poté se tato deska podle požadovaného výsledného tvaru nařeže laserem. A nakonec je překládána jako dětské pop-up knihy do výsledné a elektromechanické podoby. Tato technika, se okamžitě uchytila a nahradila ruční montážní proces. Umožnila rychlou, přesnou a masovou výrobu nejen MIKRO robotů, ale i široké škály elektromechanických zařízení.

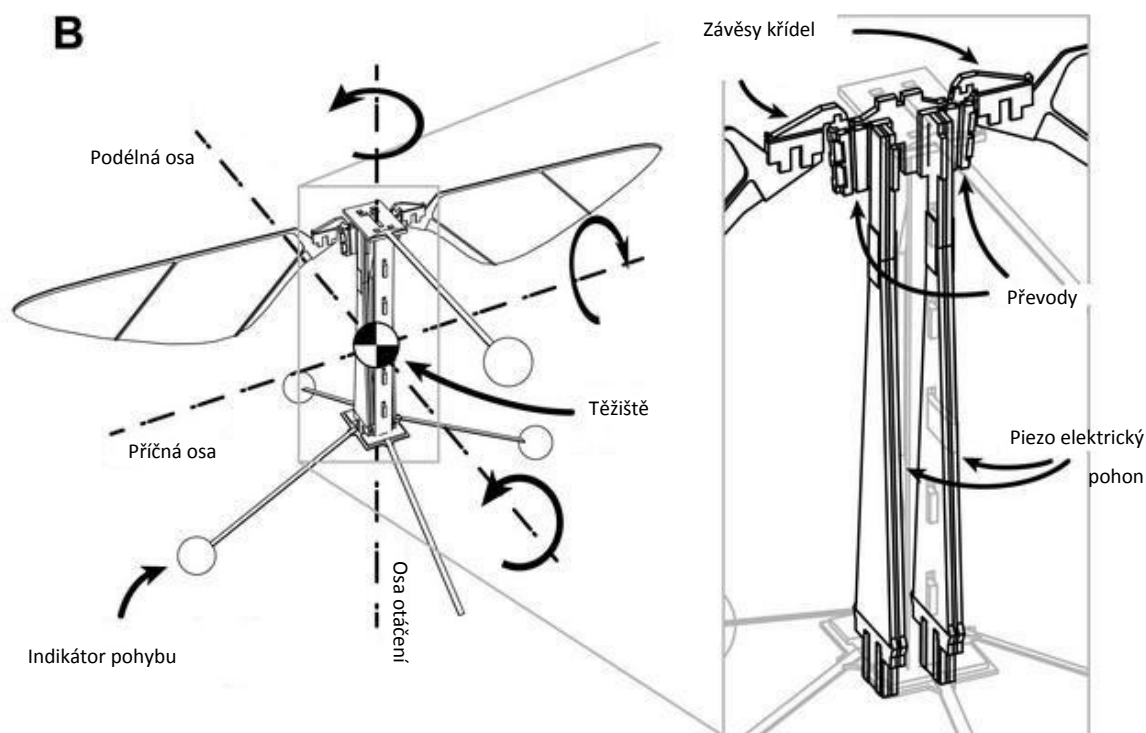
##### **Poznámka:**

*Pop-up knihy jsou specifickým druhem dětských knih. U nichž jednotlivé dvoustránky jsou účelně nařezány. Díky čemuž při otevření nebo překládání dvoustránky dojde k vytvoření 3D modelu (například chaloupky).*

#### 4.4 Současná podoba MIKRO UAV profesora Roberta Wooda a jeho týmu [8]



*Obr. 4.4.1: Současná podoba MIKRO UAV profesora Roberta Wooda a jeho týmu [8].*



*Obr. 4.4.2: Současná podoba MIKRO UAV profesora Roberta Wooda a jeho týmu [8].*



## 4.5 Dosáhnuté cíle a další cíle profesora Roberta Wooda

### Rekapitulace projektu

Během brzkých ranních hodin května letošního roku, v laboratoři MIKRO robotiky Harvardské Univerzity dosáhl profesor Wood a jeho tým obrovského úspěchu. Dostali se až do fáze, kdy se jim podařilo provést první řízený let prototypu. Konkrétně vzlet, visení a let bokem.

To ale není zdaleka jediný dosažený úspěch. Krom vytvoření samotného prototypu MIKRO UAV s rozpětím 30 mm, hmotnosti 80 mg a frekvenci 120 kmitu křídel za sekundu vymysleli zcela novou technologii výroby prototypů, která funguje na podobném principu jako dětské pop-up knihy. A já osobně považuju za obrovský úspěch, vytvoření tak obrovské a fungující spolupráce tak velkého počtu odborníků z tolika různorodých oblastí.

Nyní když mají tuto funkční platformu hotovou podle slov Profesora Wood začínají provádět doslova desítky testů a začínají testovat řadu agresivních manévřů a první pokusy o přistání.

Obecně však lze říci, že všichni očekávají, že projekt otevře širokou škálu objevů a praktických inovací v oblastech od entomologie a biologie vývoje až po výpočetní techniku a elektrotechniku.

### Další cíle profesora Roberta Wooda

- Dosáhnout letových výkonů mouchy/ včely. Přitom mouchy mají jedny z nejlepších letových vlastností a jsou schopny provádět spousty doslova akrobatických prvků.
- Vypořádat se omezením letu v závislosti na povětrnostních podmínkách. Zejména s letem ve větru.
- Inspirovat se včelami a vytvořit koordinační algoritmus popisující sofistikované chování včel ve skutečných koloniích. Pak tyto kolonie robotického hmyzu vytvořit a umět tyto roje ovládat. S tím souvisí i vývoj komunikačních metod.
- Vytvořit novou generaci mikro senzorů, kterou by šly tyto MIKRO UAV osadit. Profesor Gu-Yeon Wei, který je členem celého týmu řekl, že cílem je navrhnout dynamicky hardware a software, který bude sloužit jako mozek pro řízení a monitorování letu, snímání objektů jako jsou ostatní MIKRO UAV zařízení, ale i jiné předměty. A postupnou koordinaci jednoduchého rozhodování.
- Celkově posunout vývoj v oblasti umělé inteligence a postupně dosáhnou autonomního letu takovýchto MIKRO UAV.
- Vytvořit kompaktní vysokoenergetický zdroj energie a příslušné elektroniky, které bude možno integrovat do těla takového MIKRO UAV.
- Vytvoření spolupráce mnoha různých výzkumných týmů.
- Podporovat nové metody pro navržení a vybudování elektronického náhradního nervového systému, který bude schopný citlivě vnímat a přizpůsobit se na měnící se prostředí.
- Urychlit inovace v oblasti extrémně nízko energeticky náročných počítačů.
- Pokročit ve vývoji senzorů.
- Zdokonalit algoritmy pro řízení několika nezávislých strojů.
- Podporovat úsilí o výstavbu malých létajících mechanických zařízení.
- Učit a inspirovat budoucí vědce a inženýry.

## 5 Závěr diplomové práce

### 5.1 Porovnání postupů v obecné rovině

#### Pravidla plánování a vedení práce

Zde by se dalo říct, že všechny týmy postupují metodicky přibližně stejně. Je zřejmé, že tyto postupy nejsou tak přesně členěné jako uvádějí autoři knihy Mechanical Engineering Design.

Přece jenom se jejich zaměření trochu liší od výzkumu a oni v knize popisují stavbu strojů na základě známých konstrukčních prvků, jak z hlediska principu jejich funkčnosti, tak z hlediska materiálových nároků. Na samém začátku jejich procesu jsou většinou jasně definovány požadavky ze strany zákazníka v konkrétních bodech s jasně stanovenými výkonnostními, kvalitativními, bezpečnostními a nákladovými parametry, které se dávají do souladu s technickými možnostmi reálného trhu součástek a materiálů. Konstruktor zde hledá řešení optimálního vyladění známých prvků, byť s originálním technickým řešením, které je výsledkem jeho invence, zkušeností a znalostí z dalších oblastí definovaných v kapitole 2 (Obecný postup při návrhovém procesu- Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Richard B. Budynas).

Je podle mne ale zřejmé, že toto jsou rozdíly zanedbatelné a mnohdy jen pojmové a jejich obecný postup se použije dříve nebo později v celém rozsahu u jakékoliv konstrukční práce. Jenom vstupní údaje nebudou takového charakteru, jak je dostane do ruky konstruktor řešící specifický úkol.

Pokud mám tedy srovnat, dle mého názoru do jaké fáze návrhového procesu se jednotlivé postupy dostaly a v jaké hloubce, provedl bych srovnání tabulkou. Kdy základem je řešení autorů knihy konstrukce strojních celků.

	Kniha z hlediska teorie	Můj postup	Tým R. Wood
Průzkum požadavků	+/3	+/2	+/3
Vymezení problému	+/3	+/2	+/3
Syntéza	+/3	+/2	+/2
Analýza, optimalizace	+/3	+/1	+/2
Zhodnocení	+/3	+/1	+/2
Předvedení	+/3	-/1	+/3

**Tab. 5.1.1:**  
*Porovnání  
návrhového  
procesu různých  
autorů.*

Vysvětlivky tabulky: + bylo dosaženo dané fáze, - nebylo dosaženo dané fáze;

1- problematika nebyla vůbec řešena, 2- byla řešena z části, 3- byla řešena v plném rozsahu

Srovnání je provedeno v obecné rovině, protože není nám znám cíl ani konkrétní konstrukční příkaz. Dále je nutno zdůraznit, že počet opakování experimentů v mém procesu se zkrátil pouze na jedno období vývoje dospělého v přírodě.

## **5.2 Odlišnosti v postupech**

### **5.2.1 Průzkum požadavků**

Pokud budu hodnotit jednotlivé fáze tak autoři knihy definují průzkum přesně a z několika stran. Neřeší však konkrétní produkt. Můj průzkum požadavků vychází ze snahy získat informace ze strany potenciálních zákazníků, což se povedlo do podoby stanovené pouze v obecné rovině, zda by byl vůbec o produkt zájem ale ne kvantitativně v oblasti parametrů.

Tým R. Wooda měl zřejmě zadání také v obecné rovině v rámci základního a aplikovaného výzkumu a předpokládám, že konkrétní parametry předvedeného produktu byly stanoveny také obecně a konkrétní čísla, vyplývala až z konstrukčních řešení.

### **5.2.2 Vymezení problému**

Stanovení konstrukčního cíle je realizováno ve všech srovnávaných postupech, ale v různé rovině. Kniha rozpracovává postup podrobně teoreticky, já se pohybuji na úrovni výběru zkoumaného hmyzu a tým R. Wooda řeší již konkrétní aplikaci vybraného hmyzu s vymezením požadavku dosáhnout letu.

### **5.2.3 Syntéza**

Kniha popisuje opět ucelený a do základu rozebraný proces. Tým R. Wood provedl zřejmě syntézu ze získaných poznatků práce celého týmu a navrhl konkrétní řešení, které realizoval.

Já jsem v práci dospěl pouze do obecné roviny představ řešení, protože získaných informací je zatím nedostatečné množství k tomu, aby vznikl konkrétní konstrukční návrh.

### **5.2.4 Analýza optimalizace**

Autoři knihy konstatují, že při analýze se vyhodnocuje, zda je koncept postačující nebo dokonce lepší. Já jsem se touto otázkou zabýval, ale ke stavbě nedošlo, je tudíž nereálné provádět analýzu a začít proces optimalizace. Tým profesora R. Wood konstrukci dokončí a

provedl první pokusy konceptu, může tedy začít analyzovat a přistoupit k optimalizaci a hledat vylepšení.

### **5.2.5 Zhodnocení**

Zde dosáhla teoreticky úspěchu pouze kniha. Já, ač jsem otázku teoreticky řešil, nemohu zhodnocení reálně ke konkrétním parametrům provést. Tým R. Wooda, může provést zhodnocení v omezeném rozsahu, protože dosáhl dílčího, i když velkého úspěchu, který naznačuje, že cíl je reálný.

### **5.2.6 Předvedení**

Kniha realizuje pouze teoreticky. V mém případě k předvedení nedošlo, protože nebyl vytvořen ani koncept výrobku. Mohu pouze prezentovat teoretickou představu. Tým R. Wood dosáhl předvedení konceptu, pokud tedy tento byl cílem, tak je jeho tým úspěšný v celém rozsahu. Jelikož si však myslím, že cíle jsou vyšší, mají ještě spoustu práce před sebou, ale nesporně jsou zřejmě nejdál.

## **5.3 Zjištění a dosažené výsledky**

V této fázi, která v rámci teoretického návrhu postupu proběhla je zřejmé, že známe jen exo skelet zkoumaného organismu, jeho proporční stavbu a hmotnostní rozdělení hlavních částí těla. V této fázi hovořit o konstrukci lze jen ve velmi obecné rovině a můžeme uvažovat jen v náznacích o možnostech řešení. Zatím dosažené výsledky bych označil jako průzkum možností a ujasnění představ v obecné rovině. Dále se mi zdá, že rozsah bude nutné v první fázi zúžit jen na princip pohybu křídel, jejich stavbu a pohon. Všechny další otázky bych odsunul do pozadí, i když zůstanou v povědomí k občasnému zamyšlení. Všichni víme, že řešení mnohdy přijdou jako nečekaný nápad, třeba při cestě vlakem.

## **5.4 Dalšího postup**

Zjistit jakým způsobem ovládají křídla na úrovni orgánů vážky. Protože zatím znám jen vnější projevy tohoto pohonu, ale není mi nic známo o stavbě orgánů, uchycení křídel a mechanismu ovládání jejich pohybu. Já jsem sice navrhl možnost pohonu, ale jeho využití skrývá značnou hromadu problémů.

Nicméně, hlavní otázkou dalšího postupu není, jaký technický problém budu dále řešit, ale v kolika lidech ho budu, budeme řešit. Hlavní otázkou totiž je, jestli mohu dále postupovat sám?

Z mého pohledu existují čtyři řešení:

- Postupovat dále sám, ale tím pádem je šance dosáhnout funkčního prototypu velmi malá.
- Přičlenit se k nějakému jinému týmu. Jenže to znamená částečně se podřítit jejich myšlenkám.
- Projekt ukončit, což bych velmi nerad.
- Vybudovat tým vlastní.

Můj další postup se tedy bude točit kolem vyřešení této otázky.

## **6 Zhodnocení cíle**

Mým cílem bylo vytvořit teoretický postup návrhu MIKRO UAV napodobujícího tvar a let hmyzu. Ve své práci jsem došel do fáze návrhu stavby v obecné rovině. Naznačil jsem konstrukční prvky a možnosti jejich stavby. Zároveň srovnal tři různé přístupy k návrhovému procesu a posoudil dosažené výsledky. V této fázi jsem vzhledem k možnostem dosáhl pro mne využitelných výsledků. Ty mi umožňují projekt dále rozvíjet. Proto věřím, že se mi cíl podařilo splnit.

## 7 Literatura

### 7.1 Publikace:

- [1] SHIGLEY E. J., MISCHKE R. Ch., BUDYNAS G. R. *Konstruování strojních součástí*. 1. Vyd. Brno: VUTUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0
- [2] DOLNÝ A., BÁRTA D., WALDHAUSER M., HOLUŠA O., HANEL L. et al. *Vážky České republiky- Ekologie, ochrana a rozšíření*. 1. Vyd. Vlašim: Český svaz ochránců přírody, 2008. 672 s. ISBN 978-80-86327-71-6.
- [3] SILBY J., *Dragonflies of the World*. Collingwood: Csiro Publishing, 2001.

### 7.2 WWW stránky

- [4] Bionika  
URL: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Bionika/>>[cit. 2013-5-17].
- [5] Hluk  
URL: < <http://www.converter.cz/tabulky/hluk.htm>>[cit. 2013-5-19]
- [6] Palm- Sized Nano- Copter Is the Afghanistan War's Latest Spy Drone  
URL: <[www.industrytap.com/afghanistan-deployed-palm-sized-nano-copter/1086/](http://www.industrytap.com/afghanistan-deployed-palm-sized-nano-copter/1086/)>[cit. 2013-4-20].
- [7] Robotic insect make first controlled flight.  
URL: <<http://news.harvard.edu/gazette/story/2013/05/robotic-insects-make-first-controlled-flight/>>[cit. 2013-5-13].
- [8] Robotic insect make first controlled flight.  
URL: <<http://wyss.harvard.edu/viewpressrelease/110/>>[cit. 2013-5-13].



- [9] Welcome to the Harvard Microrobotics Lab.  
URL: <<http://micro.seas.harvard.edu/>>[cit. 2013-5-13].
- [10] Robobees.  
URL: <<http://robobees.seas.harvard.edu/>>[cit. 2013-5-13].
- [11] Mikrosuperkondenzátory umožní bleskové nabití elektroniky  
URL:<<http://www.novinky.cz/veda-skoly/294053-mikrosuperkondenzatory-umozni-bleskove-nabiti-elektroniky.html>>[cit. 2012-9-12].
- [12] DARPA- přesný název neznámý  
URL:<<http://www.darpa.mil/>> - přesné URL neznámé